

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**BALANÇO HÍDRICO DE MICROBACIA COM  
EUCALIPTO E PASTAGEM NATIVA NA REGIÃO DA  
CAMPANHA DO RS.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Edner Baumhardt**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2010**

# **BALANÇO HÍDRICO DE MICROBACIA COM EUCALIPTO E PASTAGEM NATIVA NA REGIÃO DA CAMPANHA DO RS.**

**por**

**Edner Baumhardt**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Jussara Cabral Cruz**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2010**

**Universidade Federal de Santa Maria**  
**Centro de Tecnologia**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado.

**BALANÇO HÍDRICO DE MICROBACIA COM EUCALIPTO E  
PASTAGEM NATIVA NA REGIÃO DA CAMPANHA DO RS.**

elaborada por

**Edner Baumhardt**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Jussara Cabral Cruz, Dr<sup>a</sup>.**

(Presidente/Orientadora)

---

**André Luiz Lopes da Silveira, Dr. (UFRGS)**

---

**Afranio Almir Righes, Ph.D (INPE/UFSM)**

Santa Maria, 11 de Fevereiro de 2010.

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal de Santa Maria, por me permitir concluir o ensino médio, graduação e mestrado de forma gratuita e de qualidade.

A Professora Dra. Jussara Cabral Cruz por sua orientação, amizade, apoio, ensinamentos, pela confiança depositada e dedicação na criação e execução do projeto do qual resultou esse trabalho.

Ao Professor Geraldo Lopes da Silveira, pela co-orientação, amizade, conhecimento, apoio incondicional, e por sua habilidade política, sem os quais o estudo não poderia ser realizado.

Ao Professor José Luiz Silvério da Silva pela co-orientação, amizade, parceria de campo, por acreditar e investir nos projetos que criamos e pela oportunidade ímpar de aprendizado nas diversas viagens de trabalho que realizamos.

Aos Professores André Luiz Lopes da Silveira e Afranio Almir Righes por aceitarem contribuir com o aprimoramento desse trabalho.

Ao Secretário da Pós-graduação, Eliomar Pappis pela atenção e eficiência com que trata os mestrandos.

Aos amigos e colegas Elisandra Maziero e Alessandro Salles, pela grande amizade, companheirismo, troca de conhecimentos e pelo apoio irrestrito na idealização, construção e execução dessa pesquisa.

Aos bolsistas João Francisco Horn, Calinca Barão de Ávila e Catarine Barcellos Consensa pelo grande apoio e tempo cedidos ao bom andamento da pesquisa.

Aos colegas e bolsistas do GERHI, Ana Lúcia Denardin, Damáris Gonçalves Padilha, Mário Trevisan, Simone Ângela Gonzatti, Leonardo Pavanel, Yuri Robson Vita Sá, Luiz Jardel Visioli, Camila Ferreira Tamiosso, Adriano Taschetto Antolini, Thiago Formentini, Laura Hermes, Leônidas Descovi Filho, que também estiveram ligados direta e indiretamente a pesquisa.

Aos demais colegas do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, que sempre, de uma forma ou outra contribuíram, mesmo nas conversas pelos corredores.

Deixo um agradecimento especial ao Gerente de Tecnologia da Stora Enso, Francisco Ferreira por acreditar na idéia do projeto e dar apoio irrestrito a pesquisa desde o início. Aos Engenheiros Florestais da empresa, Júlio Cesar Medeiros da Silva, Daniela Torres e também ao Técnico Florestal Huan Pablo, apoio direto e imprescindível ao bom andamento da pesquisa.

Da mesma forma, agradeço a coordenadora de Responsabilidade Social e Comunicação da Stora Enso, Sabrina Bicca, pela simpatia e pronto atendimento quando necessário. Enfim, a toda a equipe da Stora Enso Florestal RS que colaborou para que tudo saísse da melhor forma possível.

Ao Sr. Ildo José Spanevello, proprietário da fazenda São Carlos, que deposita enorme confiança na instituição UFSM e nos confiou parte de sua área para a conclusão dessa pesquisa, ainda que para isso, alterasse seu cronograma de trabalho na propriedade.

Ao Sr. Fernando Domingues, por entender o propósito da pesquisa, por acreditar na seriedade da UFSM e nos ceder gentilmente um funcionário e um local para a instalação do pluviômetro da pesquisa.

Aos novos amigos e parceiros, Técnico Agrícola Rogério da Estância Santa Ambrosina e Dona Lúcia da Fazenda São Carlos, pela seriedade e compromisso com que executaram o papel a vocês solicitado, na tarefa de coletar os dados diários de chuva nos dois pluviômetros da nossa pesquisa.

Aos meus amigos, dos quais sempre pude contar com todo o apoio e conforto.

À minha mãe Santa Liséte Baumhardt, dedico hoje e sempre, todas as minhas conquistas, por muitas vezes abrir mão das suas para que eu pudesse ter as minhas.

À pessoa que me acompanha desde o cursinho pré-vestibular, à qual devo muito do que sou e do que serei. Lauren, tu foste imprescindível e fundamental.

Ao MCT / CNPQ pelo aporte financeiro do Projeto Befloresta que resultou nesse trabalho de Dissertação.

*“Quando os homens não olham para a natureza, julgam sempre poder melhorá-la.”*  
(John Ruskin)

## RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Universidade Federal de Santa Maria

### **BALANÇO HÍDRICO DE MICROBACIA COM EUCALIPTO E PASTAGEM NATIVA NA REGIÃO DA CAMPANHA DO RS.**

Autor: Edner Baumhardt

Orientadora: Jussara Cabral Cruz

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 11 de Fevereiro de 2010.

Para buscar o norteamento em hidrologia florestal, é inevitável a abordagem do entendimento das relações entre a floresta (natural ou plantada), e a água, no que tange a seu uso e consumo. Entretanto, os estudos que elucidam a relação da produção de água em uma microbacia sob efeito da silvicultura são, por vezes, divergentes entre si. Isso aponta um desafio: qual o real efeito da floresta de *Eucalyptus* sobre o balanço hídrico em microbacias? No intuito de responder a essa pergunta, debate-se no presente trabalho, a controvérsia histórica acerca do papel desempenhado pelo eucalipto com relação a sua função hidrológica nas bacias de drenagem em que são cultivados. Logo, busca-se avaliar a influência da cobertura vegetal sobre o regime hidrológico por meio do balanço hídrico, utilizando-se de duas microbacias, uma florestada – MF, com espécie do gênero *Eucalyptus* e outra com pastagem natural – MC, situadas em região característica do Bioma Pampa. Mais especificamente, busca-se quantificar algumas variáveis componentes do balanço hídrico para estimar a disponibilidade hídrica por meio da curva de permanência de 40% a 100% do tempo. As variáveis monitoradas são: precipitação e deflúvio para as duas microbacias, e avaliação da interceptação na MF, para assim, justificar eventuais diferenças como sendo provenientes do tipo de cobertura do solo. Para isso, foram instrumentalizadas duas microbacias em região característica do Bioma Pampa. Uma, de pastagem nativa com 21 ha, ocupada por criação extensiva de gado e outra, de silvicultura de *Eucalyptus* com 92 ha, esta última com Área de Preservação Permanente e Reserva Legal cobrindo quase a metade da área. A base experimental está localizada no município de Rosário do Sul – RS e foi monitorada de outubro de 2008 a setembro de 2009. A precipitação incidente registrada na MF foi de 1297,6 mm e de 1434,1 mm na MC. Em relação à interceptação da água da chuva pela área florestada, foi concluído que, com essa metodologia de plantio, a interceptação foi de 15 % na MF e 7,5% na MC em relação à precipitação incidente. Foram identificados os meses de janeiro e fevereiro como sendo os aqueles com maior estiagem, nos quais as curvas de permanência mensais da MF, considerando as vazões com permanência maior que 40%, apresentaram maior quantidade de água em relação ao campo. Considerando a curva anual, foi observada maior quantidade de água para as vazões com permanência maior que 93% ( $Q_{93}$ ) na MF, o que pode ser explicado pela maior capacidade de infiltração e de regularização dos cursos de água em períodos sem chuva. O balanço hídrico mostrou que o uso da água pela MF ficou em 86% da precipitação incidente, enquanto que para a MC esse valor foi de 75%. Portanto, para o período da pesquisa, a MF se mostrou mais eficiente em armazenamento e produção de água em períodos de estiagem do que a MC, apesar de ter um uso de água mais elevado.

**Palavras-chave:** hidrologia florestal, impacto de florestas plantadas, *eucalyptus*.

## ABSTRACT

Master's Dissertation

Post-Graduate Program in Civil Engineering

Federal University of Santa Maria

### **WATER BALANCE IN SMALL WATERSHED WITH *Eucalyptus* AND NATURAL PASTURE IN THE ZONE OF CAMPANHA OF RS.**

Author: Edner Baumhardt

Advisor: Jussara Cabral Cruz

Place and Date of Defence: Santa Maria, February 11<sup>th</sup>, 2010.

To obtain guidance in forestry hydrology it's inevitable to approach the understanding of the relations between the forest (natural or planted) and the water, concerning its use and consumption. However, the studies that elucidate the relation between water yield in a catchment under the effect of silviculture are, sometimes, divergent between each other. This points a challenge: what is the real effect of the *Eucalyptus* forest over the water balance in experimental catchments? Trying to answer this question, a historical controversy about the role made by the eucalyptos, concerning its hydrological function in the small watersheds in which they are cultivated, is debated by the present work. Then, it is intended to evaluate the influence of the vegetal coverage over the hydrological regime through the local water balance, using two experimental catchments, one of them forested – MF, with the species of the gender *Eucalyptus* and the other with natural pastureland – MC, both located in a characteristic zone of Pampa Biome. More specifically, it's intended to quantify some variable components of the water balance to estimate the water availability through the permanence curves of 40% to 100% at the time. The monitored variables are: precipitation and streamflow for both experimental catchments and evaluation of the interception in the forested catchments, to this manner, justify eventual differences as being proceeded of the kind of soil uses. In order to do this, it was instrumentalized two catchments in the characteristic zone of Pampa Biome. One, of natural pasture area with 21 ha, occupied by cattle breeding and another with silviculture of *Eucalyptus* with 92 ha, the latter with Permanent Preservation Area and Legal Reserve covering almost the half part of the area. The experimental area is located in the city of Rosário do Sul – RS and it was monitored from October 2008 to September 2009. The precipitation incident registered in the MF was of 1297,6 mm and of 1434,1 mm in the MC. Concerning the rain interception by the forested area, it was concluded that with this methodology of planting, the interception was of 15% in the MF and 7,5% in the MC in relation to the incident precipitation. The months of January and February were identified as being that with the major drought. In these, the mensal permanence curves of the MF, considering the flows with permanence major than 40%, have presented a major quantity of water in relation to the natural pasture. Considering the annual curve, it was observed a major quantity of water for the flows with permanence major than 93% ( $Q_{93}$ ) in the MF. This can be explained by the major capacity of infiltration and regularization of the water courses in periods without rain. The water balance has showed that the use of the water by the MF has stated in 86% of the incident precipitation, while for the MC, this value was of 75%. Therefore, for the period of the research, the MF has showed itself more efficient in storage and water yield in drought periods than the MC, in spite of having a more elevated use of water.

**Key-words:** forestry hydrology, impact of planted forest, *eucalyptus*.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 4.1</b> – Retrato do típico gaúcho e suas indagações. ....	26
<b>FIGURA 4.2</b> – Crítica a quantidade de áreas destinadas à silvicultura. ....	27
<b>FIGURA 4.3</b> – Crítica a não participação da sociedade na decisão dos novos investimentos. ....	28
<b>FIGURA 4.4</b> – Crítica a perda de biodiversidade causada pelas plantações. ....	28
<b>FIGURA 4.5</b> – Abrangência do Bioma Pampa na Argentina, Uruguai e Brasil.....	31
<b>FIGURA 4.6</b> – Balanço da água precipitada no dossel da floresta. ....	46
<b>FIGURA 4.7</b> - Balanço hídrico simplificado de bacias hidrográficas. ....	52
<b>FIGURA 4.8</b> – Ciclo hidrológico enfatizando o processo de interceptação da precipitação pela vegetação, onde “P” é a precipitação, “p” a precipitação livre, “I” a interceptação, “C” a condensação, “T <sub>r</sub> ” a transpiração, “E <sub>s</sub> ” evaporação do solo, “E <sub>al</sub> ” evaporação da água livre, “g” o gotejamento, “ESC” escoamento pelos troncos, “R” o escoamento superficial, “ESC <sub>sub</sub> ” escoamento subterrâneo, “I <sub>f</sub> ” infiltração, “c” capilaridade, “V” vazão.....	56
<b>Figura 4.9</b> - Representação do hidrograma unitário. Na qual o “bC” é o braço ascendente, “Ce” é o braço de recessão, “b’ ” é o início do escoamento direto, o “c’ ” é o pico (vazão instantânea máxima), “d’ ” é o fim do escoamento direto, “b’c’ ” é o tempo de retardamento, “b’d’ ” é a duração do escoamento direto e “bd” é a linha arbitrária de separação entre o escoamento direto e o escoamento base.....	59
<b>Figura 4.10</b> – Característica dos fluviogramas e curva de permanência em monitoramento de pequenas bacias. ....	60
<b>FIGURA 5.1</b> – Divisão dos Biomas brasileiros. ....	65
<b>FIGURA 5.2</b> – Bacia do rio Santa Maria com os municípios componentes. ....	66
<b>FIGURA 5.3</b> – Mapa de localização das microbacias com respectivas coordenadas. ....	68
<b>FIGURA 5.4</b> – Microbacia de campo em Rosário do Sul – RS .....	69
<b>FIGURA 5.5</b> – Microbacia florestada em Rosário do Sul – RS .....	69

<b>FIGURA 5.6</b> – Croqui de localização dos pontos com dados de chuva. ....	71
<b>FIGURA 5.7</b> – Interceptômetros distribuídos ao acaso na MF. ....	72
<b>FIGURA 5.8</b> – Componentes dos interceptômetros. ....	73
<b>FIGURA 5.9</b> – Vista superior e lateral do interceptômetro. ....	74
<b>FIGURA 5.10</b> – Estrutura hidráulica com poço tranquilizador da microbacia de campo (A) e da microbacia florestada (B), sob as coordenadas 702968 E, 6643251 S e 704445 E, 6630250 S, respectivamente. ....	79
<b>FIGURA 5.11</b> – Transdutor de pressão (sensor de nível, datalogger e bateria) utilizado. ....	79
<b>FIGURA 6.1</b> – Valores de precipitação pluviométrica acumulada em pluviômetros no aberto e a precipitação interna ocorrida no mesmo período. ....	87
<b>FIGURA 6.2</b> - Número de coletores necessários em função da amplitude da precipitação interna. ....	89
<b>FIGURA 6.3</b> – Período com 9 interceptômetros e 6 registros negativos de interceptação. ....	90
<b>FIGURA 6.4</b> – Período com 16 interceptômetros e 5 registros negativos de interceptação. ....	91
<b>FIGURA 6.5</b> – Curva de regressão do número de coletores calculados em função da precipitação interna média. ....	91
<b>FIGURA 6.6</b> – Curva de permanência para o mês de Outubro de 2008. ....	96
<b>FIGURA 6.7</b> – Curva de permanência para o mês de Novembro de 2008. ....	96
<b>FIGURA 6.8</b> - Curva de permanência para o mês de Dezembro de 2008. ....	96
<b>FIGURA 6.9</b> – Curva de permanência para o mês de Janeiro de 2009. ....	97
<b>FIGURA 6.10</b> – Curva de permanência para o mês de Fevereiro de 2009. ....	97
<b>FIGURA 6.11</b> – Curva de permanência para o mês de Março de 2009. ....	97
<b>FIGURA 6.12</b> – Curva de permanência para o mês de Abril de 2009. ....	98
<b>FIGURA 6.13</b> – Curva de permanência para o mês de Maio de 2009. ....	98
<b>FIGURA 6.14</b> – Curva de permanência para o mês de Junho de 2009. ....	98
<b>FIGURA 6.15</b> – Curva de permanência para o mês de Julho de 2009. ....	99
<b>FIGURA 6.16</b> – Curva de permanência para o mês de Agosto de 2009. ....	99
<b>FIGURA 6.17</b> – Curva de permanência para o mês de Setembro de 2009. ....	99
<b>FIGURA 6.18</b> – Curva anual para os 40% de permanência. ....	108
<b>FIGURA 6.19</b> – Curva anual para os 95% dos dados de vazão. ....	110

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 4.1</b> – Comparação de produtividade mundial anual de florestas plantadas. .....	40
<b>TABELA 4.2</b> - Eficiência do uso da água por diferentes culturas vegetais. ....	41
<b>TABELA 4.3</b> – Altura de lâmina de água utilizada por cultura para o ciclo ou uso anual. ....	41
<b>TABELA 4.4</b> – Balanço hídrico de microbacia florestada com <i>Eucalyptus</i> sp. ....	53
<b>TABELA 5.1</b> - Localização e início do monitoramento nos pluviômetros utilizados..	70
<b>TABELA 5.2</b> – Caracterização das espécies de eucalipto cultivados na microbacia florestada, data de plantio espaçamento e área.....	76
<b>TABELA 5.3</b> - Demonstrativo das variáveis analisadas de 40% a 100% da curva de permanência.....	81
<b>TABELA 5.4</b> – Demonstrativo das variáveis analisadas em 100% do tempo na curva de permanência.....	82
<b>TABELA 6.1</b> – Valores médios de precipitação pluviométrica na microbacia de campo e florestada no período de Out/08 a Set/09, nas fazendas São Carlos e Santa Ambrosina, respectivamente. ....	85
<b>TABELA 6.2</b> – Períodos de coleta, número de eventos e precipitação pluviométrica precipitada.....	88
<b>TABELA 6.3</b> – Valores médios de interceptação por coleta acumulada para o período de 04/08 a 05/09. ....	92
<b>TABELA 6.4</b> – Valores de interceptação estimados pela metodologia dos interceptômetros-piloto.....	94
<b>TABELA 6.5</b> - Demonstrativo global das variáveis das microbacias para 40% a 100% do tempo de curva de permanência. ....	95
<b>TABELA 6.6</b> – Médias das vazões de 40% de permanência para a microbacia de campo e microbacia florestada em $L.s^{-1}.ha^{-1}$ .....	101
<b>TABELA 6.7</b> – Demonstrativo global dos resultados das microbacias para 100% do tempo de curva de permanência. ....	109
<b>TABELA 6.8</b> – Balanço hídrico anual da microbacia florestada.....	114

<b>TABELA 6.9</b> – Balanço hídrico anual da microbacia de campo.....	115
<b>TABELA 6.10</b> – Resumo comparativo dos valores encontrados na microbacia de campo (testemunha) e microbacia florestada.....	116

## LISTA SIGLAS E ABREVIATURAS

**ANA:** Agência Nacional das Águas

**APP:** Área de Preservação Permanente

**BEFLORESTA:** Bacia Escola Floresta

**CONAMA:** Conselho Nacional de Meio Ambiente

**CONSEMA:** Conselho Estadual de Meio Ambiente.

**CPEF:** Companhia Paulista de Estradas de Ferro

**CPRH:** Agência Estadual de Meio Ambiente - PE

**CREA-RS:** Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do RS

**CRH:** Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul

**DRH:** Departamento de Recursos Hídricos

**E<sub>t</sub>:** Escoamento pelo Tronco

**ETP:** Evapotranspiração.

**F.S.:** *Full Scale*

**FEPAM:** Fundação Estadual de Proteção Ambiental Luiz Roessler

**GERHI:** Grupo de Pesquisa Gestão de Recursos Hídricos

**IBAMA:** Instituto Brasileiro

**IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**MC:** Microbacia de Campo

**MF:** Microbacia Florestada

**OMM:** Organização Mundial de Meteorologia

**PIRF:** Programas de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento.

**PP<sub>i</sub>:** Precipitação Interna

**RL:** Reserva Legal

**SBS:** Sociedade Brasileira de Silvicultura

**SERGS:** Sociedade de Engenheiros do Rio Grande do Sul.

## SUMÁRIO

<b>1 APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Considerações Iniciais.....</b>	<b>17</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>20</b>
<b>4 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1 Contextualização do Estudo .....</b>	<b>21</b>
4.1.1 Por que o eucalipto como alvo do estudo?.....	21
4.1.2 “Eucalipto x Água”: a incerteza.....	21
4.1.3 A polêmica: fruto da incerteza. ....	22
4.1.4 Manifestações de artistas locais no intuito retratar as indagações e críticas da população em relação ao eucalipto.....	26
4.1.5 Contribuição no apoio à tomada de decisão. ....	28
<b>4.2 Bioma Pampa.....</b>	<b>30</b>
4.2.1 Características do Bioma em Estudo .....	30
<b>4.3 Histórico de ocupação do Bioma Pampa .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4 Uso atual do Bioma Pampa .....</b>	<b>34</b>
4.4.1 A Ocupação pela pecuária extensiva .....	35
4.4.2 O Arroz Irrigado e a sua relação com a zona ripária .....	36
4.4.3 Ocupação pela silvicultura do eucalipto .....	37
<b>4.5 O Eucalipto .....</b>	<b>39</b>
4.5.1 Origem.....	39
4.5.2 Características do gênero .....	40
4.5.3 Técnicas atuais de cultivo .....	42
<b>4.6 Aspectos Legais da silvicultura no RS.....</b>	<b>42</b>
<b>4.7 Bacia hidrográfica .....</b>	<b>43</b>
4.7.1 Bacia como unidade de manejo .....	43
4.7.2 A Importância da floresta na produção de água da microbacia.....	45
4.7.3 Pesquisas envolvendo florestas plantadas e recurso hídrico .....	48
4.7.4 Balanço hídrico.....	50

4.7.5 Componentes do monitoramento hidrológico .....	53
4.7.6 Curvas características .....	59
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>64</b>
<b>5.1 Características da área de estudo .....</b>	<b>64</b>
<b>5.2 A Bacia do rio Santa Maria .....</b>	<b>65</b>
<b>5.3 As áreas de estudo .....</b>	<b>67</b>
<b>5.4 Pluviometria.....</b>	<b>69</b>
5.4.1 Estações pluviométricas.....	69
5.4.2 Medições complementares da pluviometria .....	71
<b>5.5 Estação hidrométrica e seus componentes.....</b>	<b>77</b>
5.5.1 A escolha do local .....	77
5.5.2 Construção da estrutura hidráulica.....	78
<b>5.6 Avaliação do regime hidrológico com o uso de curvas de permanência .....</b>	<b>80</b>
5.6.1 Construção da curva de permanência.....	82
5.6.2 Cálculo dos volumes da curva.....	84
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>85</b>
<b>6.1 Pluviometria.....</b>	<b>85</b>
<b>6.2 Interceptação .....</b>	<b>86</b>
6.2.1 Avaliação piloto do estudo de interceptação .....	86
6.2.2 Estimativa da interceptação mensal de 10/2008 a 09/2009 da MF. ....	93
<b>6.3 Avaliação do deflúvio mensal por meio da curva de permanência .....</b>	<b>94</b>
6.3.1 Comparação das curvas mensais de 40% a 100% da Permanência para avaliação da disponibilidade hídrica.....	95
6.3.2 Curva Anual para os 40% de permanência .....	107
<b>6.4 Avaliação anual do deflúvio e síntese de resultados.....</b>	<b>109</b>
6.4.1 Curva anual para 95% do tempo e análise de 100% dos dados registrados .....	109
<b>6.5 Balanço hídrico das microbacias .....</b>	<b>113</b>
6.5.1 Microbacia florestada .....	113
6.5.2 Microbacia de campo .....	115
6.5.3 Análise comparativa do Balanço Hídrico .....	116
<b>6.6 Avaliação da eficiência da estrutura hidráulica para estimativa da disponibilidade Hídrica.....</b>	<b>118</b>
6.6.1 Qual o percentual de tempo em que o vertedor conseguiu monitorar as vazões?.....	119
6.6.2 O percentual de tempo monitorado, nos 12 meses do estudo, foi suficiente para desenvolver a avaliação da disponibilidade hídrica comparativa entre floresta e campo?.....	119

6.6.3 Por que a permanência de 40% como base para o estudo?.....	120
6.6.4 Quais as dificuldades de ordem operacional encontradas para a manutenção da base e quais as perspectivas de uso do esquema? .....	120
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>123</b>
<b>8 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>124</b>
<b>9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>125</b>

# 1 APRESENTAÇÃO

Esse estudo baseou-se em um projeto desenvolvido no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSM e surgiu da necessidade de se conhecer um pouco melhor as relações hídricas da silvicultura do eucalipto.

A motivação para essa pesquisa fundamentou-se na busca por respostas à grande polêmica instalada no RS, a partir de 2005, com o anúncio dos investimentos em silvicultura do *Eucalyptus* por três grandes empresas florestais.

A escolha do local da pesquisa baseou-se em vários fatores, dentre eles o bioma de origem (Pampa), problemas relacionados à gestão dos recursos hídricos, ou seja, conflito pelo uso da água; presença de observadores, proprietários rurais interessados em participar e apoiar o estudo, a existência de duas microbacias pareadas ou próximas com uso de solo distinto, porém semelhantes em solo, topografia, altitude, chuvas entre outros.

A dissertação foi gerada a partir de um projeto maior denominado Bacia Escola Floresta – BEFLORESTA, financiado pelo edital Universal do CNPq nº 483248/2007-0 tendo como proponente a Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz.

Rosário do Sul localiza-se a 170 km de Santa Maria (sede da UFSM), porém, em função da aceitação e comprometimento dos envolvidos a pesquisa transcorre com ampliação constante da base experimental.

A pesquisa contou com a colaboração dos proprietários das áreas, especificamente o Sr. Ildo Spanevello e a equipe da Stora Enso Florestal RS de Rosário do Sul que mantiveram as áreas nas condições adequadas ao bom andamento do estudo.

## 2 INTRODUÇÃO

### 2.1 Considerações Iniciais

A água é de vital importância para a sobrevivência dos seres vivos, uma vez que está presente na maioria dos processos metabólicos. Além dessa atuação vital, levando-se em conta o ciclo hidrológico, ela interage com todo o ambiente, acumulando as informações dessas interações e, assim, funcionando como indicador ambiental de grande eficiência (OKI, 2002).

O norteamento em hidrologia florestal tem sido a busca pelo melhor entendimento das relações entre a floresta e a água no que tange ao seu uso ou consumo pela floresta e o efeito do manejo sobre a produção e características da água de uma microbacia, como cita Moster (2007).

E estudos que analisam a relação da produção de água em uma microbacia sob efeito da silvicultura são, por vezes, divergentes, sobre o real efeito da floresta sobre o balanço hídrico em microbacias.

Nesse contexto, debate-se a controvérsia histórica sobre o papel desempenhado pelo eucalipto com relação ao uso e a sua função hidrológica nas bacias de drenagem nas quais são cultivados. Uma questão frequentemente abordada pela mídia, sociedade e leigos, trata de que o eucalipto provoca rápido secamento do solo trazendo prejuízos em relação ao ecossistema original.

Questionamentos dessa natureza são, por vezes, carentes de fundamentação científica e freqüentemente tomados como verdades. Mosca (2003) cita alguns exemplos que podem ser observados em artigos outrora publicados. O primeiro artigo<sup>1</sup> afirma que "O eucalipto suga água do fundo do solo em excesso". O segundo<sup>2</sup> relata "... há cerca de 26 anos o Jequitinhonha era um vale fértil, de múltiplas culturas e criações, e começou a 'secar' graças à substituição das matas nativas pela plantação indiscriminada do eucalipto". No Estado do Espírito Santo a

---

<sup>1</sup>PESSOA, C., 2001. A reserva de um milhão de eucaliptos. Revista Terra, [www.revistaterra.com.br](http://www.revistaterra.com.br) (acesso 27 fev. 2001.)

<sup>2</sup>CHAVES, M. Eucalipto fará o Jequitinhonha de SP? <<http://www.estado.estadao.com.br/editorias/03/03/08/aberto002.html>> Acesso em 13 de mai. 2008.

polêmica tornou-se ainda maior por ocasião da aprovação, em 2001, de uma Lei Estadual<sup>3</sup> (ESPÍRITO SANTO, 2001) proibindo novas plantações da árvore até que fosse realizado o mapeamento agroecológico do Estado.

No RS em 2005, o Ministério Público<sup>4</sup> proibiu o plantio de eucalipto próximo ao arroio que abastece o município de Pinheiro Machado, baseado no “Princípio da Precaução”. Segundo o promotor, “o eucalipto suga do solo grandes quantidades de água, o que pode afetar a manutenção da barragem que abastece de água a cidade”.

Contudo, há décadas, a ciência já tem mostrado resultados em relação ao tema. Estudos conduzidos em várias partes do mundo, Cossalter e Pye-Smith (2003), Lima e Zakia (2006), Moster (2007) entre outros, usando o método das microbacias experimentais e outros, têm se mostrado cientificamente eficientes na avaliação da produção e qualidade da água dos riachos, diversidade biológica e ciclagem de nutrientes comparando microbacias recobertas por espécies florestais de rápido crescimento à vegetação natural e atividades agropecuárias. Porém, os resultados apresentados são por vezes contraditórios no que tange a questões de consumo de água por espécies florestais como o *Eucalyptus*.

Ao considerar essas dificuldades sócio-ambientais das florestas de eucalipto e também pela complexidade do contexto, Mosca (2003), cita que não se deve reduzir o ciclo da água a um fenômeno que se desenvolve fora da sociedade, procura-se, ao contrário, agregar subsídios para o debate do modelo agrícola-agrário ora estabelecido em busca de orientação para a implementação de melhores práticas de manejo das florestas plantadas.

Ademais, em um cenário em que a evapotranspiração, infiltração e tipo de escoamento sejam diferenciados das características das áreas com vegetação nativa adaptada ao pampa durante os séculos, seria elucidativo levantar esses fatores e avaliar os tipos de impactos no entorno da microbacia à luz da gestão dos recursos hídricos.

---

<sup>3</sup>Lei 6.780/2001, aprovada pela Assembléia Legislativa do Espírito Santo. <<http://www.ibase.org.br/paginas/deserto.html>>. Acesso em 09 de jan. 2008.

<sup>4</sup>Ministério Público do RS – 2005. Página do MP do RS. Disponível em: <<http://www.mp.rs.gov.br/imprensa/noticias/id4362.htm>>. Acesso 22 de Julho de 2009.

Além disso, questiona-se se é válida a hipótese de que a produção de água em uma microbacia florestada é mais regularizada ao longo do ano quando comparada com uma área de uso tradicional associada à pecuária extensiva no campo nativo do Pampa, como a apresentada para esta pesquisa.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral desse trabalho é avaliar a influência da cobertura vegetal do solo sobre o regime hidrológico de duas microbacias, uma florestada com espécies do gênero *Eucalyptus* e outra com pastagem natural, situadas em região característica do Bioma Pampa.

### **3.2 Objetivos Específicos**

- a) Quantificar o deflúvio em microbacia hidrográfica ocupada com floresta de eucalipto e em microbacia ocupada pela pecuária com pastagem natural do Bioma Pampa.
- b) Determinar o uso consuntivo médio diário de água pelo eucalipto cultivado na Região da Campanha do RS.
- c) Definir a relação existente entre a precipitação pluviométrica e a interceptação da água pela floresta de eucalipto.

## **4 REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 Contextualização do Estudo**

#### **4.1.1 Por que o eucalipto como alvo do estudo?**

A produção de madeira pela floresta de eucalipto tem como benefício a disponibilização de matéria-prima para a sociedade poder usufruir de produtos considerados indispensáveis como: papel, carvão, lenha, móveis, habitações, alimentos, óleos essenciais, etc. Ao obter madeira de florestas plantadas, se estará contribuindo para a preservação das florestas nativas, já que a demanda por produtos e sub-produtos oriundos da floresta é crescente. O novo modelo de produção florestal baseado em plantações é relativamente recente. Por isso, a extensão de áreas plantadas ainda é reduzida no planeta. Esse modelo de reflorestamento está em constante aperfeiçoamento, o que permitiu a geração de conhecimento científico e tenta superar outras tantas indagações ambientais, sociais e econômicas a todo instante.

#### **4.1.2 “Eucalipto x Água”: a incerteza.**

No contexto atual, quando se fala em consumo de água por eucaliptos, a população em geral pode inadvertidamente imaginar grossas e profundas raízes funcionando como verdadeiras bombas retirando água do solo e a evaporando como água transpirada para a atmosfera. No entanto, há um desconhecimento, por parte da população leiga, sobre a fisiologia e morfologia das florestas plantadas e também sobre como a água é absorvida, transportada e transpirada. Além disso, existe uma série de dúvidas por parte da sociedade em geral (inclusive pesquisadores) sobre o balanço hídrico das plantações, bem como, sobre fenômenos importantes como fotossíntese, respiração, transpiração, evaporação e evapotranspiração.

A pesquisa em hidrologia, nas suas diversas áreas, necessita conhecer a fundo também esse processo, além da dinâmica da água no solo e das águas subterrâneas.

A compreensão desse sistema cria conhecimentos que podem ser úteis para sanar indagações científicas e da mesma forma atingir a sociedade, desde que se utilize de mecanismos acessíveis de compreensão. Ademais, formas mais eficientes do conhecimento científico chegar até comunidades com as quais interage ainda é um desafio; talvez por esse e aliado a outros motivos, o eucalipto seja tão contestado.

Além disso, frente à importância, freqüentemente debatida, sobre o uso racional dos recursos hídricos e o conseqüente impacto das ações antrópicas sobre tal sistema, se faz necessário um trabalho visando suprir com respostas, alguns questionamentos em relação ao comportamento hidrológico da espécie do gênero *Eucalyptus* sobre o Bioma Pampa.

As áreas sobre as quais estão sendo implantados os povoamentos de *Eucalyptus* no Estado do Rio Grande do Sul, encontram-se, na sua grande maioria, em solos de grande susceptibilidade a erosão, pequena capacidade de retenção de água além de serem originados a partir do Arenito Botucatu ou da mistura de arenito com basalto (arenoso, baixa fertilidade, ausência de matéria orgânica) além de, em alguns locais, estarem sobre áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani – SAG.

#### 4.1.3 A polêmica: fruto da incerteza.

Para se entender a origem da polêmica sobre o eucalipto, remete-se a sua chegada no Brasil pelas mãos de Edmundo Navarro de Andrade em meados de 1904, quando o ilustre engenheiro foi contratado pelo Serviço Florestal da Companhia Paulista de Estrada de Ferro - CPEF para suprir a falta de carvão para as locomotivas e dormentes para as ferrovias.

Foi nesse período que começaram as críticas da imprensa e nacionalistas.

Dizia-se que essa espécie de árvore não prestava para nada, que sua lenha não produzia o calor necessário para as fornalhas e que pelo pouco espaçamento dado entre as plantas a CPEF teria sempre uma floresta de cabos de vassoura e que, além disso, não era conveniente plantar-se uma essência exótica quando havia tantas essências nacionais (SAMPAIO, 1948 apud MARTINI, 2004).

Em português antigo, Andrade (1922) ressalta: “Chegamos a rezear uma Lei de expulsão para os eucalyptos e ella teria sido votada, certamente, se dahi pudessem advir beneficios para as nossas industrias artificiaes”, citava Edmundo Navarro de Andrade na introdução de uma de suas obras.

Atualmente, a polêmica dos plantios de eucalipto passa por questões fundiárias com indígenas, remanescentes quilombolas e tem sido questionada por diversas vezes sua real função social, etc. Além disso, a questão mais intrigante e que mais recentemente vem sendo estampada na mídia diz respeito à incerteza da função hidrológica do eucalipto nos biomas nos quais está sendo cultivado.

No Rio Grande do Sul, a partir de 2005, foram anunciadas três novas indústrias de celulose concentradas na porção sul do Estado, o que gerou uma reação das entidades ambientalistas, assustadas com a possibilidade do plantio de cerca de 1 milhão de hectares de floresta plantada.

Em função das polêmicas geradas sobre a situação dos plantios, em 2007, a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS) perdeu o direito de realizar os licenciamentos da silvicultura do eucalipto no RS, quando então, por determinação judicial, o IBAMA assumiu a função. A pedido de uma associação de ONGs, a Juíza Clarides Rahmier entendeu que a FEPAM estava sofrendo pressão externa para liberação de plantios, fato este que, segundo ela, estaria comprometendo a aplicação das normas estabelecidas pelo Zoneamento da Silvicultura do RS. A evolução dos debates e colocações polêmicas sobre o eucalipto no RS desenvolveram-se conforme a breve descrição a seguir.

Em 2005, são anunciados 3 grandes fábricas de celulose no Estado RS, com investimentos ultrapassando os 2 bilhões de dólares.

<sup>5</sup> Em março de 2006, um laboratório e um viveiro florestal da Aracruz Celulose em Barra do Ribeiro (RS) foram depredados por integrantes do MST, do Movimento das Mulheres Camponesas e da Via Campesina. Todo o material genético estudado há 20 anos para melhorar a produtividade das plantações de eucalipto que abastecem a fábrica de celulose de Guaíba (RS), foi destruído. Foram destruídas também quatro milhões de mudas da área de distribuição para plantio. A Via

---

<sup>5</sup> Aracruz Celulose - Sem-terras Encapuzados Fazem Vandalismo no RS. Disponível em: <[http://www.aracruz.com.br/show\\_press.do?act=news&id=1000105&lang=1](http://www.aracruz.com.br/show_press.do?act=news&id=1000105&lang=1)>. Acesso em 07 de Outubro de 2009.

Campesina acusou a empresa de provocar danos ambientais pela monocultura de eucalipto. No entanto, sem apresentar justificativas com cunho científico.

<sup>6</sup> Em Agosto de 2006, o Geógrafo, Professor da UFRGS, Roberto Verdum, em entrevista a Revista IHU-ONLINE da UNISINOS, questionou: “vamos dar água de alta qualidade para produzir eucalipto?”. “Como são árvores de alto crescimento, a demanda de água vai ser importante e maior. Com certeza, a introdução dessas monoculturas afetará o manancial hídrico”.

<sup>7</sup> O Professor da UFRGS, Ludwig Buckup (2006) afirmou que em se tratando de monoculturas arbóreas, “falar-se que elas estariam colaborando para a sustentabilidade do planeta é totalmente improcedente” - referindo-se às frases utilizadas pelos órgãos financiadores de florestas. O mesmo autor ressalta que entre os elevados custos ambientais da implantação de eucaliptais principalmente, em extensas áreas do Estado do RS, destacam-se as perdas previsíveis de recursos hídricos, tanto do solo como dos ambientes lóticos. Segundo ele, espécies de eucaliptos são conhecidas não apenas pelas suas fibras apropriadas para a indústria de celulose, mas também pela sua alta atividade evapotranspiratória, o que conseqüentemente resultaria na menor infiltração comprometendo assim a recarga subterrânea.

<sup>8</sup> Na “Conselho em Revista” nº 35 do CREA-RS (2007), o Prof. da UFRGS Luiz Alberto Silveira Mairesse diz que o “Zoneamento da Silvicultura para o RS apesar de cientificamente fundamentado, torna-se uma peça puramente proibitiva, sectária e dogmática”.

<sup>9</sup> Em Agosto de 2007, o “*site*” da Associação Gaúcha de Empresas Florestais publicou que: o que se assistiu nas audiências públicas do Zoneamento Ambiental da Silvicultura, por exemplo, não foi uma discussão em que primassem questões técnicas ambientais ou mesmo sociais e econômicas, mas sim a ressurreição de

---

<sup>6</sup> PAMPA – Silencioso e Desconhecido. Revista Eletrônica IHU – Online. Revista da Unisinos. Disponível em <[www.unisinos.br/lhu](http://www.unisinos.br/lhu)>. Acesso em Agosto de 2009.

<sup>7</sup> BUCKUP, L. A Monocultura Com Eucaliptos e a Sustentabilidade. Disponível em: <[www.natbrasil.org.br](http://www.natbrasil.org.br)>. Acesso em Set. de 2007.

<sup>8</sup> CREA – RS. Revista “Conselho em Revista”. Disponível em: <<http://saturno.crea-rs.org.br/crea/pags/revista/35/capa.asp>> Acesso em 21 de Novembro de 2007.

<sup>9</sup> AGEFLOR. Associação Gaúcha de Empresas Florestais. Disponível em: <[www.Ageflor.com.br](http://www.Ageflor.com.br)> Acesso em 19 de Novembro de 2007.

posições baseadas num falso dilema, empregos e desenvolvimento versus meio ambiente. Aqueles que defendem o Zoneamento da Silvicultura elaborado pela Fepam/Fundação Zoobotânica foram principalmente acusados de serem contra o desenvolvimento da Metade Sul do Estado.

<sup>10</sup>Em 12 de Novembro de 2007, foi publicado no “*site*” da Secretaria Estadual de Meio Ambiente do RS, que a Juíza substituta da Vara Federal Ambiental e Agrária, Clarides Rahmier, transferiu da Fepam para o IBAMA, as atribuições do licenciamento ambiental do plantio florestal (silvicultura) em função da grande polêmica envolvendo empresas florestais e a Fepam.

<sup>11</sup>Em Abril de 2008, foi divulgada no Diário Oficial do RS, a RESOLUÇÃO CONSEMA N.º 187/2008 (RIO GRANDE DO SUL, 2008) normatizando todos os novos plantios a se adequarem ao Zoneamento para Atividade de Silvicultura – ZAS.

Durante uma forte crise mundial no ano de 2009, foram estagnados os 3 (três) grandes investimentos anunciados. Houve a fusão de duas empresas que, juntas, acumularam uma dívida de 13,4 bilhões de Reais<sup>12</sup>. Uma das duas unidades dessa nova empresa, situada na metade sul, foi negociada com uma investidora Chilena, reacendendo o mercado gaúcho de papel e celulose.

Notou-se que a polêmica instaurada no Estado do RS, envolvendo os novos investimentos em silvicultura com os recursos hídricos, trouxe ao debate desde a população leiga até a elite intelectual gaúcha. Porém, o que se verificou, foram apenas suposições e conjecturas a respeito do tema. A resposta para muitas dessas indagações, só será alcançada através da ciência, o mais isenta possível de tendenciosidades políticas, econômicas, sociais e ambientalistas.

Fica claro, nesse breve relato histórico a respeito do tema, que sempre houve contrários em relação ao eucalipto. Dos tempos de Navarro de Andrade para cá, mudaram apenas as causas do conflito e alguns personagens, no entanto, ao que tudo indica, se não houver resultados sólidos e confiáveis sobre o assunto água x

---

<sup>10</sup> Secretaria Estadual de Meio Ambiente do RS - SEMA – Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/sema/jsp/descnoticias.jsp?ITEM=1717&TIPO=1>>. Acesso em 18 de Novembro de 2007.

<sup>11</sup> Rio Grande do Sul – Resolução CONSEMA n° 187/2008. Disponível em: <[www.sema.rs.gov.br](http://www.sema.rs.gov.br)>. Acesso em 07 de Outubro de 2009.

<sup>12</sup>Jornal Zero Hora– Caderno de Economia. Disponível em: <<http://zerohora.clicrbs.com.br/zerohora/jsp/default.jsp?uf=1&local=1&newsID=a2663763.xml&channel=13&tipo=1&section=eral>>. Acesso em 24 de Setembro de 2009.

eucalipto, sempre existirão aqueles contrários, que em função do senso comum e da carência de informações, vislumbram uma oportunidade de defenderem seus próprios interesses, porém, aparentando levantar a bandeira da precaução ou defesa da sociedade.

#### 4.1.4 Manifestações de artistas locais no intuito retratar as indagações e críticas da população em relação ao eucalipto.

Nesse período, o governo do Estado do RS foi duramente criticado por ONGs ambientalistas, artistas e sociedade em geral, que olhavam, e ainda olham com desconfiança, a entrada do eucalipto na metade sul do RS, como mostram as charges, (Figura 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4).



**Figura 4.1 – Retrato do típico gaúcho e suas indagações.**

Fonte: Santiago, s/d

Na maior parte da metade sul do RS, a qual compreende a grande maioria do Bioma Pampa, a vegetação arbórea nativa desenvolve-se apenas nos vales dos cursos de água, havendo a necessidade de se promover sombra para o gado (pecuária extensiva é o uso dominante do solo na metade sul), nesse sentido os proprietários faziam, e ainda o fazem, pequenos bosques de eucalipto de trechos em

trechos de suas propriedades, tornando-o uma árvore muito conhecida principalmente pelo pecuarista.

Além disso, essa espécie adorna o entorno das sedes e também proporciona sombra aos moradores, apesar destes trazerem consigo, ditados antigos e expressões como a de que o eucalipto “seca banhado”. A Figura 4.1, retrata de forma interessante, o gaúcho tomando seu chimarrão, à sombra de uma árvore de eucalipto e uma pequena muda “sugando” o copo de “trago” do cidadão. De forma cômica, o autor dá uma ambiguidade à expressão “beberrão” despendida ao eucalipto.



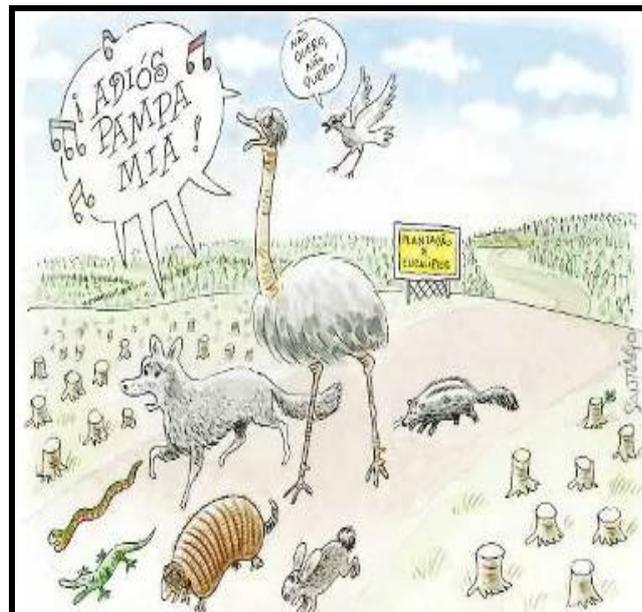
**Figura 4.2 – Crítica a quantidade de áreas destinadas à silvicultura.**

Fonte: Santiago, s/d



**Figura 4.3 – Crítica a não participação da sociedade na decisão dos novos investimentos.**

Fonte: Santiago, s/d



**Figura 4.4 – Crítica a perda de biodiversidade causada pelas plantações.**

Fonte: Santiago, s/d

#### 4.1.5 Contribuição no apoio à tomada de decisão.

No Estado, por meio de Audiências Públicas, legislação de recursos hídricos e seus instrumentos, em especial a Outorga, Enquadramento e Cobrança, ações

dos comitês de bacia, etc, torna-se possível estabelecer o uso desejável da água para um rio em particular. Tal uso implicaria em concentrações desejáveis de parâmetros quali-quantitativos da água para os usos múltiplos e ainda preservar o ambiente. Porém, qual embasamento que um órgão gestor teria, para a tomada de decisão, sem levantar os reais impactos do tipo de uso do solo na bacia?

Esse estudo se torna importante no momento em que a silvicultura do eucalipto faz parte de um cenário que já conta com um passivo ambiental problemático como: da cultura do arroz, da soja e da pecuária, que cederam à silvicultura grandes extensões de áreas arenizadas, erodidas, com graves problemas de fertilidade e estrutura do solo, o que provavelmente já reflete há tempos no ciclo da água na metade sul/sudoeste do Estado do RS.

Além disso, a própria legislação ambiental, exige mecanismos de controle para avaliar os impactos do setor florestal, principalmente relacionados com a manutenção da produção de água em quantidade e qualidade. Logo, a avaliação do balanço hídrico tem sido usada na silvicultura com a instrumentação de microbacias hidrográficas experimentais e monitoramento contínuo da produção de água em áreas sujeitas aos impactos do florestamento.

A interação entre rio e aquífero é um elo do ciclo hidrológico que é importante para o estudo, tanto de recargas em aquíferos, como na regularização de vazões do escoamento superficial. O entendimento da interação da água subterrânea e superficial é essencial ao estudo em recursos hídricos. Um estudo que leve em consideração apenas um dos componentes é parcialmente eficaz no momento em que se entende o ciclo hidrológico interdependente de todos os componentes do sistema.

A compreensão do efeito que as florestas plantadas exercem sobre as águas é fundamental para auxiliar no esclarecimento de questões a muito debatidas por ONGs, pesquisadores, ambientalistas e comunidade em geral, em relação à influência da silvicultura principalmente do eucalipto, sobre a manutenção quali-quantitativa da água numa região com déficit hídrico e de bioma singular como a metade sul do RS.

O Bioma Pampa, onde se localizam as microbacias dessa pesquisa, apresenta uma vasta riqueza em biodiversidade de espécies, principalmente vegetais, e singularidade em importância hidrológica, o que o remete a um estudo mais aprofundado sobre seu comportamento frente a uma intervenção antrópica de

grandes proporções territoriais como os plantios de eucalipto. O melhor entendimento dessa questão deverá permitir que se possa tratar com maior embasamento científico, os impactos hidrológicos e ambientais das plantações de eucaliptos no Pampa Gaúcho, além de servir como subsídio a políticas públicas que promovam a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Estudos complementares devem ser realizados para embasar ou alterar o manejo florestal nas empresas, que estão interessadas em manter a sustentabilidade de sua exploração florestal.

## **4.2 Bioma Pampa**

Segundo Pillar et al. (2009) os Campos Sulinos são ecossistemas naturais com alta diversidade de espécies vegetais e animais. São os campos dos biomas brasileiros Pampa e Mata Atlântica e que se estendem sobre amplas regiões do Uruguai e Argentina. Eles garantem serviços ambientais importantes, como a conservação de recursos hídricos, a disponibilidade de polinizadores, e o provimento de recursos genéticos.

Além disso, o mesmo autor cita que, a história dos campos no sul do Brasil, incluindo sua origem, desenvolvimento, distribuição, composição e biodiversidade, assim como o papel do fogo e do impacto humano, tem sido estudada apenas recentemente. Variações espaciais e temporais dos biomas campestres nos trópicos e subtropicais, assim como alterações nos limites entre campo e floresta e mudanças florísticas da vegetação campestre, são eventos importantes que contribuem para o entendimento dos atuais campos do sul do Brasil.

### **4.2.1 Características do Bioma em Estudo**

Os ecossistemas de campos subtropicais do Brasil apresentam alta biodiversidade e são o tipo de vegetação predominante em algumas áreas da região sul. Uma vegetação em forma de mosaico campo/floresta, que ainda apresenta certo aspecto natural, pode ser encontrada em algumas regiões menos degradadas, apesar das massivas alterações na paisagem que têm ocorrido pela conversão dos habitats para agricultura e silvicultura (PILLAR et al., 2009).

A vegetação do RS é constituída por formações florestais, na ordem de 93.098,55 km<sup>2</sup>, por formações campestres que ocupam 131.041,38 km<sup>2</sup>, além das áreas de tensão ecológica e das formações pioneiras (HASENACK et al., 2007). No entanto, com o avanço da civilização e com o aumento da população humana ocorreram muitas alterações. A entrada de animais domésticos, como gado bovino, a introdução de culturas, como o arroz e a soja, a silvicultura e a expansão urbana modificaram grandemente a fisionomia observada nos dias de hoje. Segundo Hasenack et al. (2007), a cobertura natural ou semi-natural da vegetação campestre atualmente é de 64.210,09 km<sup>2</sup>, o que significa dizer, que foi suprimido 51% da vegetação campestre original, com finalidade econômica e para urbanização.

Burkart (1975) classificou a vegetação campestre do sul do Brasil em dois tipos distintos: “campos do Brasil Central” para aqueles situados no norte do Estado e que tem continuidade nos Estados de Santa Catarina e Paraná e fazem parte do bioma Mata Atlântica (IBGE 2004). Além disso, a outra porção foi denominada “campos do Uruguai e sul do Brasil” para aqueles do sul do RS e que correspondem ao Bioma Pampa (IBGE 2004) conforme Figura 4.5.



**Figura 4.5 – Abrangência do Bioma Pampa na Argentina, Uruguai e Brasil.**

Fonte: Pillar et al. (2009).

Segundo Pillar et al. (2009), os denominados “campos do Brasil Central” ocorrem nas porções mais elevadas, nos topos e encostas. Nos vales, nota-se a presença da floresta de araucária, apresentando a *Araucaria angustifolia* como espécie dominante. De acordo com classificação do Ministério do Meio Ambiente

estes campos são denominados de “campos de altitude” e segundo Fortes (1959) fazem parte da região dos Campos de Cima da Serra.

Para Pillar et al. (2009), no Brasil, o Bioma Pampa com continuidade no Uruguai, está restrito ao estado do Rio Grande do Sul e se localiza na metade sul, ocupando aproximadamente 63% (IBGE 2004) da superfície do Estado. Segundo Burkart (1975), constitui uma das regiões do mundo mais ricas em gramíneas, com uma mistura de espécies microtêrmicas e megatêrmicas e predomínio destas últimas. A matriz geral, é formada por grandes extensões de campo dominado por gramíneas, com inclusões de florestas pelas margens dos rios, constituindo as chamadas matas de galeria.

Pillar et al. (2009) classificou os campos do Bioma Pampa em 7 formações distintas dentro do território gaúcho, dentre elas “Os Campos de Barba-de-Bode”, “Campos de Solos Rasos”, “Campos de Solos Profundos”, “Campos dos Areais”, “Vegetação Savanóide”, “Campos Litorâneos” e por fim os “Campos do Centro do Estado”, que compreende parte da Depressão Central incluindo-se a Bacia do Rio Santa Maria.

Na região abrangida pelos Campos do Centro do Estado, com pecuária extensiva ou agricultura, Pillar et al. (2009) salienta que, quando os campos são bem manejados, a presença de solo descoberto é baixa, pois no estrato inferior, as espécies dominantes são rizomatosas, representadas pelo capim-forquilha (*Paspalum notatum*) nos topos e encostas das coxilhas e estoloníferas como a grama-tapete (*Axonopus affinis*) nas baixadas úmidas.

O capim-caninha (*Andropogon lateralis*) é presença constante, destacando-se no estrato superior. Entretanto, o mesmo autor cita que, em campos com sobrepastoreio, a comunidade vegetal torna-se rala e o solo descoberto apresenta valores alarmantes. São nestes espaços que as sementes das compostas, que são numerosas, se instalam, destacando-se a roseta (*Soliva pterosperma*), o alecrim-do-campo (*Vernonia nudiflora*), a maria-mole (*Senecio brasiliensis*), além de *S. selloi* e *S. heterotrichus*. Nas áreas bem drenadas, as barbas-de bode (*Aristida jubata* e *A. filifolia*) formam touceiras e compõem o estrato superior da comunidade vegetal.

### 4.3 Histórico de ocupação do Bioma Pampa

O Bioma pampa cobre cerca de 63 % do território do RS e há o predomínio do campo como paisagem, (NABINGER, 2005); ocorrendo principalmente na metade sul do Estado. Os campos são ecossistemas naturais que já existiam quando aqui chegaram os primeiros grupos humanos há cerca de 12 mil anos, conforme nos revelaram evidências obtidas a partir da análise de pólen e partículas de carvão em sedimentos (BEHLING et al., 2004).

Os primeiros habitantes humanos do Estado foram os chamados “índios Umbus”, que viviam principalmente da pesca e caça. Em função do tipo de vegetação e da megafauna (Camelídeos e Eqüídeos) que então existiam, os Umbus necessitavam atear fogo à vegetação para cercar os animais, ampliar a visão e ter êxito na caça, fazendo indiretamente, o manejo dos campos e da pastagem natural desde aquela época (PILLAR e QUADROS, 1997).

Berretta (2001) faz duas inferências importantes em relação a condicionantes da atual vegetação. A primeira diz respeito à utilização do fogo como ferramenta de conflito em tribos rivais e também como ferramenta de caça e a outra relacionada ao pastejo dos animais nativos. Segundo o autor, só no pampa uruguaio o veado campeiro (*Odocoileus bezoarticus*) chegou a 24 milhões de cabeças. Provavelmente, em função do clima mais seco, a vegetação predominante na época era diferente da atual, mas em essência, era um ambiente formado por pradarias com predomínio de gramíneas.

Com a passagem de um clima seco para úmido, há cerca de quatro mil anos, surgiram lentamente as florestas, primeiramente nos vales e beira de cursos de águas e expandindo-se para o interior dos campos. Essa lenta expansão foi freada, em parte, com o pastoreio provocado pelo gado trazido por padres Jesuítas no ano de 1634, chegando a 48 milhões de cabeças de gado e um milhão de eqüinos no ano de 1715 (COSTA, 1998).

O fogo nos campos, a pastagem de animais nativos, aliados a chegada dos rebanhos *Vacum* e *Cavalar*, trazidos pelos padres jesuítas a cerca de 400 anos, ratificam que a vegetação vem sendo manejada e selecionada ao longo desses anos. Segundo Quadros e Pillar (2001) a vegetação nativa é mais adaptada ao fogo do que ao pastejo e, em alguns casos, o fogo pode aumentar a diversidade de espécies em determinados locais, criando condições para que outras espécies

perenes venham a se desenvolver. Em função da extinção das missões Jesuíticas<sup>13</sup> além de outros fatores relativos à redução das expedições bandeirantes, o gado solto nos campos se reproduziu rapidamente e mais tarde formariam a base do rebanho bovino da região Sul.

Segundo Severo e Miguel (2006), a origem da atividade pecuária no RS está diretamente vinculada à ocupação da área de fronteira e para produção de alimento para a força de trabalho das minerações e “*plantation*”. Os mesmos autores afirmam que em meados de 1730, a intensificação do tropeirismo do gado desperta o interesse da coroa portuguesa para o começo de sua exploração dando início a colonização com açorianos e a formação das sesmarias no Estado, gerando a organização de estância que se preserva até hoje como identidade regional

A partir da expansão da fronteira agrícola nas décadas de 60 e 70 e Revolução verde, os produtores rurais do norte do Estado começam a introduzir a soja e o arroz na região sul/sudoeste do RS, porém, em função da baixa produtividade da soja, o arroz irrigado se torna a atividade mais comum nas várzeas dos grandes rios presentes na região.

#### **4.4 Uso atual do Bioma Pampa**

Alterações nos usos dos solos em áreas rurais, particularmente uma modificação de agricultura/pecuária para silvicultura e vice-versa, têm sido freqüentemente relacionadas à degradação na qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

Referência especial às áreas ribeirinhas dos rios do RS, que têm sofrido intensa influência antrópica e modificações na sua configuração espacial original, por meio da retirada da vegetação natural para utilização na agricultura e criação de gado (SILVA et al., 2007); tendo como consequência a redução no tamanho efetivo de populações, a perda de habitat e alterações nas interações ecológicas e nos

---

<sup>13</sup> Insatisfeitos com a geografia desintegradora das Missões, os índios Guaranis se organizaram e se armaram para a luta contra os exércitos de Portugal e Espanha. Iniciou-se a Guerra Guaranítica que, pela desigualdade de forças e armas, dizimou os indígenas. O golpe fatal veio com a expulsão dos Jesuítas em 1768.

processos reprodutivos das espécies, que irão resultar em mudanças nos padrões de diversidade e dinâmica das comunidades vegetacionais (SILVA et al., 2007).

A seguir apresenta-se uma breve consideração sobre os principais usos da região de estudo:

#### 4.4.1 A Ocupação pela pecuária extensiva

Os campos da região sul do Brasil são denominados de pampas, termo indígena que significa região plana, abrangendo o Estado do RS, Uruguai e a Argentina. Nesses locais além da utilização de grandes áreas para cultivo agrícola, existe o predomínio da pecuária extensiva e a prática do fogo que não contribuem para o estabelecimento da vegetação arbustiva, principalmente na metade sul do RS.

A singularidade da formação dos solos no Pampa aliada ao seu manejo inadequado tem levado os solos a um processo de arenização. O exemplo mais dramático disso está na parte sudoeste do RS, onde ocorreram a erosão severa e processos de arenização, formando extensas manchas de areia em substratos areníticos não-consolidados (TRINDADE, 2003). Esse processo é ocasionado por uma junção de fatores, porém os caminhos ou trilhos formados pelo do gado que auxiliam no início de um núcleo de arenização, constitui um dos principais problemas.

Na região do Pampa Gaúcho tem-se a criação de gado como umas das principais atividades econômicas e de uso do solo, ocupando cerca de 10 milhões de hectares de pastagens, totalizando 40% do território do Estado, (SBS, 2007). Porém, o impacto pode ser minimizado quando respeitados alguns limites, como por exemplo: não exceder a lotação máxima de animais por hectare e manter isoladas, do pisoteio e pastoreio, as APPs (Áreas de Preservação Permanente) em torno dos cursos de água as quais nem sempre coincidem com a zona ripária, o que agrava o problema (BAUMHARDT et al., 2008).

Além disso, o estado de conservação dos recursos hídricos está diretamente ligado ao uso do solo, no caso das pastagens, este uso pode ser inadequado constituindo um conflito, pois devido ao pisoteio a que é submetido com a presença do gado, o solo, desprovido da sua proteção vegetal, fica exposto à ação dos

agentes erosivos o que resulta na sua degradação. Essa alteração física do solo, segundo Thomaz (2000), diminui a porosidade e, por conseguinte, diminui a infiltração de água no solo, reduzindo a sua capacidade de armazenamento de água, aumentando o escoamento superficial e desencadeando processos erosivos que irão carrear solo e nutrientes para dentro do curso d'água, podendo ocasionar seu assoreamento e contaminação.

Ademais, o animal, ao procurar sombra e água, invade a área da APP, formando trilhas, pisoteando ou alimentando-se da vegetação em regeneração. Benett et al. (2002), observou que os rios e açudes naturais, onde se têm a dessedentação animal possuem suas margens desprotegidas devido ao trânsito freqüente de animais, fato este, que também causa o assoreamento dos rios, a degradação das matas ciliares e de sua capacidade de renovação.

#### 4.4.2 O Arroz Irrigado e a sua relação com a zona ripária

A agricultura irrigada, é a atividade que mais consome água em nível mundial. Utiliza cerca de 70% da água derivada de rios, lagos e mananciais subterrâneos (UFSM 2005). O cultivo do arroz irrigado, presente em todas as Regiões brasileiras, destaca-se na Região Sul, que atualmente é responsável por 60% da produção total deste cereal (EMBRAPA, 2005).

No Estado do RS existem 8 milhões de hectares com atividade agrícola (SBS, 2007). Os solos cultivados com arroz irrigado no Estado são encontrados, principalmente, nos ecossistemas de várzeas (solos de várzea) formados por planícies de rios, lagoas e lagunas, apresentando uma característica comum: a formação em condições variadas de deficiência de drenagem (hidromorfismo), (EMBRAPA, 2005).

Essa atividade provoca impactos pouco conhecidos sobre o meio aquático. O carreamento de nutrientes, tais como nitrogênio, fósforo e potássio e de agrotóxicos, que são lixiviados e conduzidos para o sistema de drenagem, origina a perda de recursos materiais, financeiros e impacta o meio em questão.

Para o cultivo de arroz irrigado é necessário uma grande quantidade de água, deve-se considerar ainda, que as captações ocorrem nos meses de verão, normalmente por meio de canais de derivação ou captação direta no rio, destacando

a cultura orizícola como principal uso consuntivo (onde há retirada da do rio) da água na época da irrigação, podendo atingir até 15.000 m<sup>3</sup>/ha.safra. Como exemplo, cita-se a bacia do rio Ibicuí, na qual a irrigação representa cerca de 96% dos usos outorgados na bacia para água superficial, segundo informações do Departamento de Recursos Hídricos do Estado – DRH<sup>14</sup> em 2007.

Espinoza e Abraham (2005) salientaram que o arroz necessita áreas sem vegetação, fazendo com que ocorra uma grande pressão sobre as matas nativas, principalmente sobre as matas ciliares, demandando ainda uma grande quantidade de água. Assim para que esta água esteja disponível é necessário que as quadras de arroz estejam próximas dos corpos d'água. Ocorrendo assim, a degradação da vegetação ciliar. A preservação da vegetação junto às nascentes dos rios e encostas contribui de forma decisiva para manter e aumentar a disponibilidade de água na bacia hidrográfica. A instalação de lavoura junto às margens dos rios favorece o desbarrancamento das margens e o assoreamento dos leitos.

Em função de serem as várzeas, os locais mais adequadas à produção de arroz irrigado, conseqüentemente, a zona ripária é diretamente atingida, sendo por vezes, a extensão da área produtiva da lavoura. Logo, a região, que deveria servir como filtro e tampão entre o ecossistema aquático e terrestre, perde a sua função, deixando de existir em alguns casos, em detrimento do melhor aproveitamento da área para cultivo.

#### 4.4.3 Ocupação pela silvicultura do eucalipto

Segundo Scarpinella (2002), em 1966, o Governo Federal Brasileiro decidiu promover as plantações de florestas no País. Para isso, abdicou de parte do imposto de renda de cidadãos e empresas e instalou o Programa de Incentivos Fiscais ao

---

<sup>14</sup> Departamento de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul/FEPAAM: Órgão da administração direta, responsável pela integração do Sistema Estadual de Recursos Hídricos, que concede a outorga do uso da água e subsidia tecnicamente o CRH, notadamente no que tange à coordenação, ao acompanhamento da execução e à elaboração do anteprojeto de Lei do Plano Estadual de Recursos Hídricos.

Reflorestamento (PIFR)<sup>15</sup>. Esse programa existiu até 1987, sendo que mais de 3,5 milhões de hectares foram relatados como tendo sido alcançados (RS FLORESTAL, 2008).

No RS, a partir de 2005 foi anunciado o início das atividades de implantação da base florestal de duas grandes empresas do setor de celulose e a duplicação de outra, ampliando gradativamente em 300 mil ha a área de florestas plantadas (SBS, 2007), com uma meta de alcançar a marca de 800 mil ha de efetivo plantio em 2014. Segundo SBS (2007), em função da cadeia produtiva gerada no entorno dos investimentos o número de hectares plantados poderá chegar a 1 milhão.

Nesse sentido, vale destacar a existência de duas situações diferenciadas quando se trata da silvicultura e a conservação dos recursos naturais existentes em uma região; uma delas diz respeito ao passivo ambiental das práticas silvícolas do passado no que tange a mudança da vegetação nativa local. A outra situação, refere-se à implantação da silvicultura em áreas anteriormente submetidas à agricultura e a pecuária, nas quais, muitas vezes os limites de APPs não foram respeitados.

As florestas plantadas, sob as restrições ambientais e legais, em substituição a outras culturas tradicionalmente cultivadas na metade sul do RS, podem trazer uma contribuição a recuperação de áreas degradadas, a recomposição da vegetação na beira dos rios e a delimitação rigorosa de APPs interligadas com a Reserva Legal, fato este considerado um sistema adequado na busca do manejo sustentável de florestas plantadas na visão de Lima e Zakia (2006).

Baumhardt et al. (2008), quantificaram a contribuição da silvicultura, no cumprimento efetivo da legislação ambiental, para a recuperação de áreas degradadas pela pecuária extensiva e lavoura orizícola em função das suas particularidades produtivas. Por meio de mapas temporais de uso do solo, os autores concluíram que a silvicultura aumentaria de 6% para 59 % a área preservada, na mudança de uso do solo de pecuária para silvicultura.

As empresas florestais investidoras no RS, possuem certificação internacional, que as norteia para a melhor técnica de manejo sustentado de

---

<sup>15</sup> Em 1966, em função dos resultados das pesquisas conduzidas pelos programas de reflorestamento existentes, e do aumento da demanda da madeira, o Governo Federal do Brasil instituiu o Programa de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento (Scarpinella, 2002).

florestas plantadas, principalmente de eucalipto. Exemplo disso, é o plantio com preparo mínimo do solo e em mosaico estrutural, que interligam APPs e Reserva Legal formando assim corredores ecológicos para deslocamento da fauna. No Estado, esses corredores, somados as outras áreas de APPs, representam de 50 a 60 % das áreas destinadas a silvicultura (SERGS, 2008).

## 4.5 O Eucalipto

Segundo Vital (2007) o Eucalipto (do grego, eu + καλύπτω = "verdadeira cobertura") é a designação vulgar das várias espécies vegetais do gênero *Eucalyptus*, ainda que o nome se aplique ainda a outros gêneros de mirtáceas, como *Corymbia* e *Angophora*.

A maioria das espécies de *Eucalyptus* são árvores típicas de florestas altas, atingindo alturas de cerca de 50 metros e de florestas abertas com árvores menores que chegam a 25 metros, cerca de 40 espécies são arbustivas segundo Mora e Garcia (2000).

### 4.5.1 Origem

De ocorrência natural da Austrália, o eucalipto possui mais de 600 espécies adaptadas a diversas condições de solo e clima. Dessa variedade de espécies, apenas duas não são originadas da Austrália, o *Eucalyptus urophylla* e o *Eucalyptus deplupta* (MORA e GARCIA, 2000). Os mesmos autores comentam que a disseminação de sementes de eucaliptos no mundo começou no início do século XIX. Na América do Sul, o primeiro país a introduzir o eucalipto foi o Chile em 1823 e posteriormente a Argentina e o Uruguai. Por volta de 1850, países como Portugal, Espanha e Índia começaram a testar o eucalipto.

No Brasil, Mora e Garcia (2000), lembram que as primeiras mudas de eucaliptos foram plantadas no Rio Grande do Sul em 1968 e no mesmo ano, foram plantadas algumas mudas no Estado do RJ. Já em 1904 a 1909, Navarro de Andrade (considerado por muitos, o "pai" da eucaliptocultura no Brasil), procedeu testes comparativos de eucaliptos com espécies nativas brasileiras afim de testar

qual seria a melhor espécie para suprir as necessidades da Companhia Paulista de Estradas de Ferro.

#### 4.5.2 Características do gênero

Mora e Garcia (2000), tratam das espécies de *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. globulus*, *E. urophylla*, *E. viminalis*, *E. citriodora* e *E. saligna*, como sendo as mais cultivadas mundialmente.

A seleção da espécie adequada para plantio em determinada região, é realizada com as relações de clima e solo mais próximas possíveis com o local de origem da espécie. O eucalipto possui espécies em quase toda a faixa latitudinal da Austrália, o que permite uma ampla gama de espécies disponíveis. As principais espécies cultivadas no Brasil são de origem tropical e subtropical.

Com mais de 90 anos de experiência no manejo do gênero *Eucalyptus* o setor florestal brasileiro agrega conhecimento suficiente para ter uma das melhores e mais produtivas florestas plantadas do mundo, como mostra a Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 – Comparação de produtividade mundial anual de florestas plantadas.**

<b>Espécie</b>	<b>País</b>	<b>Rotação (anos)</b>	<b>Produtividade (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>
Eucalipto	Brasil	7	41
Eucalipto	África do Sul	8-10	20
Eucalipto	Chile	10-12	25
Eucalipto	Portugal	12-15	12
Eucalipto	Espanha	12-15	10
Bétula	Suécia	35-40	6
Bétula	Finlândia	35-40	4

Fonte: Adaptado de Bracelpa (2009)

Em relação aos fatores que afetam a produtividade do eucalipto, pode citar a precipitação como uma das limitantes. Mora e Garcia (2000) citam que as árvores

têm bom crescimento em locais nos quais chove entre 900 e 2000 mm anuais. Em relação aos solos, o eucalipto prefere solos profundos e bem drenados, sem camada de impedimento.

Em relação ao aproveitamento de água pelo gênero, Novaes (1996) apresentou uma listagem de espécies, comparando-as entre si e o eucalipto conforme Tabela 4.2

**Tabela 4.2 - Eficiência do uso da água por diferentes culturas vegetais.**

<b>Cobertura</b>	<b>Eficiência do Uso da Água (produção por quilograma de água utilizada)</b>
Batata	0,40-0,65 g de bulbos
Milho	0,47-1.08 g de grãos
Cana-de-Açúcar	1,8 g de açúcar
Feijão	0,5 g de grãos
Trigo	0,9 g de grãos
Cerrado	0,4 g de madeira
Eucalipto	2,9 g de madeira

Fonte Novaes (1996).

Da mesma forma, Calder et al (1992) apresentou um listagem de eficiência de uso da água, conforme o ciclo da cultura ou para cada ano, em caso de culturas de ciclo longo como o eucalipto, como mostra a Tabela 4.3.

**Tabela 4.3 – Altura de lâmina de água utilizada por cultura para o ciclo ou uso anual.**

<b>Quantidade de água necessária durante um ano ou ciclo da cultura</b>	
<b>Cultura</b>	<b>Consumo de água (mm)</b>
Cana-de-açúcar	1000-2000
Café	800-1200
Citrus	600-1200
Milho	400-800
Feijão	300-600
Eucalipto	800-1200
Obs: 1 mm (milímetros) corresponde a 1 litro por m <sup>2</sup>	

Fonte: Calder et al. (1992).

#### 4.5.3 Técnicas atuais de cultivo

O cultivo do eucalipto evoluiu substancialmente nos últimos 20 anos. Os cultivos antigos, resquícios das plantações subsidiadas pelos incentivos fiscais, eram feitos com pouco ou nenhum planejamento, com métodos de preparo de solo obsoletos que causavam erosões de diversas naturezas e, além disso, eram cultivos que não levavam em consideração a Lei vigente. Além disso, segundo Mora e Garcia (2000), os talhões tinham formatos inadequados e eram implantados em regiões ecológicas inadequadas. Além disso, praticava-se o desmatamento em favor de novas áreas para silvicultura.

No entanto, entre erros e acertos do setor florestal brasileiro, formou-se um patrimônio genético de grande valor que pôs o Brasil na liderança no em domínio da silvicultura do eucalipto.

Atualmente, os plantios comerciais de eucaliptos, em sua grande maioria, são feitos seguindo-se normas internacionais sustentabilidade e cumprindo os requisitos para manutenção dos seus sistemas de gestão ambiental por meio da ISO 14000. As florestas são planejadas em talhões menores, levando-se em consideração a declividade da área. O plantio de eucaliptos segue de forma rigorosa a legislação ambiental e, além disso, são norteados pelo Zoneamento Ambiental da Silvicultura no Estado do RS. Utiliza-se da metodologia dos corredores ecológicos que interligam Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal (20% para o RS) etc.

Medidas antes adotadas, como o desmatamento em favor da silvicultura do eucalipto, não mais são utilizadas tampouco permitidas. Além disso, existe um controle de incêndios normalmente monitorado via satélite. São adotadas ainda, práticas de preparo do solo com menor capacidade erosiva, adotando-se como método o cultivo mínimo, com subsolagem na linha de plantio.

#### 4.6 Aspectos Legais da silvicultura no RS

A necessidade de proteger os recursos hídricos, o solo, os ecossistemas, a flora e fauna, as paisagens frágeis e singulares, os ecossistemas naturais, por meio da manutenção dos corredores ecológicos das matas ciliares, dos remanescentes florestais e de campos nativos, dos habitats especiais de ocorrência de flora e fauna ameaçadas de extinção e endêmicas e, além disso, em virtude da necessidade de compatibilizar a atividade de silvicultura com a conservação do patrimônio arqueológico, paleontológico,

histórico, cultural, social e turístico além de promover a adoção de práticas de manejo ambientalmente adequadas que resultem na proteção dos recursos naturais, da biodiversidade e dos processos ecológicos o Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA, por meio da Resolução CONSEMA n° 187/2008 aprovou o Zoneamento Ambiental para Atividade de Silvicultura no Estado do RS que norteia os novos investimentos florestais (RIO GRANDE DO SUL, 2008).

Ademais, a atividade da silvicultura é regulada pela Resolução CONAMA 302/2002 (Brasil, 2002), a qual dispõe sobre parâmetros, definições e limites de APPs de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Além disso, a atividade é regida pela Resolução CONAMA 303/2002 (BRASIL, 2002), que Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

O Código Florestal Estadual, por meio da Lei 9.519/92 (RIO GRANDE DO SUL, 1992), que dispõem sobre o uso e manutenção da cobertura Florestal do RS, a Lei N° 11.428/2006 (BRASIL, 2006), da Mata Atlântica, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, além da Lei N° 9.605/98 dos Crimes Ambientais (BRASIL, 1998) todas, norteiam os projetos de silvicultura no RS.

## **4.7 Bacia hidrográfica**

### **4.7.1 Bacia como unidade de manejo**

A bacia hidrográfica foi determinada como unidade territorial para planejamentos na Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

A bacia hidrográfica é um sistema geomorfológico aberto, que recebe energia e matéria por meio de agentes climáticos e perde por deflúvio evapotranspiração. É uma unidade natural da paisagem que apresenta limites bem definidos, funcionando pela contínua troca de energia e de matéria com o meio. Devido a essa característica de equilíbrio dinâmico, qualquer modificação que ocorrer na bacia, acarretará em uma mudança no seu comportamento (GREGORY E WALLING,1973).

Desta forma, Perry e Maghembe (1989), citam que o funcionamento hidrológico de uma microbacia é altamente complexo e relativamente estável,

suportando alterações naturais quando em boas condições de proteção vegetal. Por esta mesma razão, ela é também altamente sensível a perturbações, cujas alterações se refletem na qualidade da água, que reflete o resultado integrado de todos os fatores intrínsecos a cada microbacia. Devido a esses fatores, ela é naturalmente considerada uma unidade ecossistêmica de planejamento segundo Likens (1985), onde é possível promover estudos sobre formas de manejo florestal sustentável, englobando o princípio da manutenção da integridade do ecossistema.

Essas características e os diversos estudos realizados, Cossalter e Pye-Smith (2003), Lima e Zakia (2006), Moster (2007) e Lima (2008) entre outros, ao longo dos anos, demonstram que a utilização de microbacias experimentais apresenta-se como um método adequado para a análise dos efeitos ambientais do uso do solo. Outra característica importante é que ela funciona como laboratório natural para estudos a médio e longo prazo, fornecendo maiores informações sobre quais atividades provocam maiores impactos ao ambiente, ajudando na busca de critérios de manejo sustentável.

Lima e Zakia (1998) relatam que o manejo sustentável de microbacias hidrográficas busca utilizar os recursos naturais de tal maneira a garantir a manutenção da saúde do ecossistema, organizando e orientando o uso da terra e de outros recursos naturais de modo a produzir bens e serviços sem destruir ou afetar de modo irreversível o solo e a água, utilizando como ferramenta o planejamento orientado das atividades e uso do solo.

A avaliação de qualquer alteração no regime hidrológico em uma bacia hidrográfica só pode ser feita caso exista um registro prévio de suas características hidrológicas, e que este período seja suficientemente longo para que se possa avaliar e quantificar a magnitude desta alteração. Estas comparações são possíveis quando se correlacionam, na maioria das vezes, o deflúvio com outras variáveis hidrometeorológicas, sendo tal procedimento conhecido por calibração ou calibragem de uma bacia hidrográfica. (ARCOVA, 1996). Afirma também, que no método das bacias pareadas, uma variável do deflúvio de interesse da bacia a ser alterada é correlacionada com a mesma variável de interesse de uma segunda bacia adjacente ou vizinha, de condições similares à primeira, denominada de bacia controle.

Stednick (1996) discorre sobre o histórico dos estudos realizados em microbacias pareadas nos EUA. O autor afirma que o primeiro trabalho foi

desenvolvido no Colorado em 1909 e avaliou os efeitos da colheita sobre o deflúvio. Depois disso, centenas de estudos foram feitos a fim de avaliar os efeitos sobre o deflúvio a partir de: mudanças no uso da terra, distúrbios naturais, infestação de insetos, incêndios florestais, pastagens, conversão de vegetação, florestamento, tipo de sistema de colheita etc.

#### 4.7.2 A Importância da floresta na produção de água da microbacia

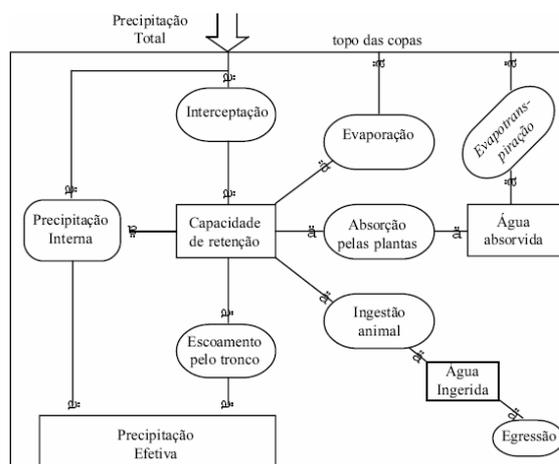
Qualquer área ocupada por floresta, seja ela natural ou artificial, possui alguns benefícios oriundos do ecossistema florestal. Kobiyama (2000), cita alguns como: mitigação do clima (temperatura e umidade), diminuição do pico do hidrograma (redução de enchentes), diminuição da perda de solo (pelo controle da erosão), melhoramento da qualidade da água no solo e no rio (ação de filtro), atenuação da poluição atmosférica, aporte de oxigênio, absorção do gás carbônico, prevenção de danos causados pela força do vento, redução da poluição sonora, recreação e educação, produção de biomassa e energia.

Segundo Arcova e Cicco (1997), nota-se que as florestas naturais desempenham papel muito importante na captação e distribuição de água de chuva nas bacias hidrográficas, no processo de suprimento de água para a recarga dos aquíferos, assim como a regulação do escoamento de água das bacias.

A hidrologia florestal trata do movimento da água em ambientes de floresta, sejam naturais ou de plantações de espécies de crescimento rápido. O balanço de água nesses ambientes depende da precipitação, da interceptação de água pelo dossel, do escoamento lateral e em profundidade (drenagem profunda) e da evapotranspiração. Com exceção da precipitação, os demais processos são bastante influenciados pela densidade de plantas, pelo tipo de solo, pelo comportamento fisiológico da planta e pela estrutura e arquitetura do dossel.

Lima (1997), apresenta dados sobre resultados obtidos em bacias hidrográficas, os quais mostram os efeitos do reflorestamento sobre a produção de água. É observado, que os efeitos sobre a produção de água variam de acordo com a proporção da área da bacia que é submetida ao corte, ou que foi reflorestada.

Para melhor entender de que forma a planta utiliza a água precipitada Lima (2008) apresentou um modelo de entradas e saídas representado na Figura 4.6.



**Figura 4.6 – Balanço da água precipitada no dossel da floresta.**

Fonte: Lima 2008.

Ademais, Lima (1996), assegurou que do ponto de vista do estabelecimento de plantações florestais com o propósito de melhorar as condições hidrológicas de bacias degradadas, o uso do eucalipto parece promover, com o devido tempo, um adequado controle dos processos de escoamento superficial, erosão e ciclagem de nutrientes, contribuindo dessa forma para a melhoria da qualidade da água produzida pela bacia.

Segundo Cossalter e Pye-Smith (2003) quando a plantação é estabelecida haverá inevitavelmente uma mudança no ciclo hidrológico. A natureza da mudança dependerá de qual tipo de habitat as plantações substituem. Quando a floresta natural é convertida em uma plantação, as maiores mudanças ocorrerão durante os primeiros poucos anos seguintes da derrubada e plantio. Em contraste, quando as plantações são desenvolvidas em pastagens, a mudança inicial na hidrologia será ligeira, mas tornará progressivamente mais pronunciada na medida em que a plantação aproxima-se da maturidade.

Ademais, estudos anteriores explicam o processo de consumo de água por espécies arbóreas, como o de Soares et al.,(1997). Os autores afirmaram que, quando o conteúdo de água do solo é reduzida, a condutância estomática e o potencial hídrico foliar diminuem, conseqüentemente, a transpiração também. Por outro lado, em condições de alta disponibilidade de água no solo e de radiação líquida, aparentemente o controle estomático não é exercido, ou seja, a planta se auto-regula conforme a disponibilidade dos recursos o que de certa forma é interessante para plantios alocados em regiões de déficit hídrico.

Além disso, Soares e Almeida (2001), no intuito de minimizar algumas incertezas científicas a respeito do tema, desenvolveram um modelo de uso da água em plantações de (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) que indicou que nos anos em que chove em torno da média histórica da região do Estado do Espírito Santo, existe equilíbrio entre evapotranspiração e precipitação. Os autores também verificaram que o eucalipto exerce controle estomático eficiente sobre a transpiração durante a estação seca.

A importância da floresta na retenção temporária da água da chuva no ecossistema foi observada na Amazônia Central por Leopoldo et al. (1995). Durante três anos de estudo, os autores notaram que apenas 3% da água da chuva era perdida pelo ecossistema superficial. Scott e Lesch (1997), observaram que o florestamento com *Eucalyptus grandis* causou um decréscimo significativo da descarga fluvial no terceiro ano após o plantio e no nono ano o rio secou completamente. Segundo os autores, foram os eucaliptos foram plantados sem nenhum respeito à zona ripária. As árvores foram derrubadas após 16 anos de idade, mas o retorno pleno da descarga fluvial ainda não havia ocorrido no quinto ano subsequente.

O balanço hídrico envolve a quantificação dos componentes do sistema, visando ao melhor entendimento do seu comportamento e baseia-se no princípio de conservação de massa, sendo analisado pelos insumos de entradas e pelas saídas de água do sistema afirma Tucci (2000). As possíveis entradas de água no sistema incluem precipitação, orvalho, precipitação oculta e ascensão capilar, enquanto as possíveis saídas incluem evapotranspiração, escoamento superficial, escoamento subsuperficial e escoamento-base.

Pela equação do balanço hídrico, o deflúvio é o saldo contábil entre a entrada de água pelas chuvas e as perdas evaporativas. Assim, quantidades idênticas de precipitação em duas bacias devem produzir quantidades variadas de deflúvio, devido a diferentes características físicas da bacia hidrográfica. Para avaliar o efeito que teria qualquer perturbação numa bacia hidrográfica, é necessário antes conhecer as características hidrológicas do ecossistema natural, para posteriormente se poder comparar com aquelas em que houve intervenções antrópicas. A análise desses aspectos do ecossistema envolve características de clima, geomorfologia, solo, vegetação, deflúvio e evapotranspiração.

O Bioma Pampa, além de apresentar alta riqueza em biodiversidade de espécies, necessita de estudos que contemplem a singularidade da sua importância hidrológica e quais efeitos acarretariam quando da intervenção antrópica com florestamentos de eucalipto. O melhor entendimento dessa questão deverá permitir que se possa tratar, com maior embasamento científico, os impactos hidrológicos e ambientais das plantações de eucaliptos no Pampa Gaúcho.

#### 4.7.3 Pesquisas envolvendo florestas plantadas e recurso hídrico

Calder et al. (1993) compararam a função hidrológica de plantios comerciais de *Eucalyptus grandis*, vegetação nativa e culturas agrícolas na Índia, encontrando que em regiões secas, o uso de água por plantações jovens de *Eucalyptus grandis*, até a profundidade de 3 metros, não foi maior que o uso pela floresta nativa decídua. Além disso, em todos os sítios amostrados, o uso de água por *Eucalyptus grandis* e pela floresta nativa foram iguais à precipitação (com uma incerteza de 10%). Os autores encontraram ainda que em todos os sítios, o uso de água pelas formações florestais, tanto nativa quanto exótica, foi maior que pela agricultura;

Sabará (2004) afirma que as microbacias cobertas por pastagens no médio Rio Doce em MG sofrem a falta de recursos hídricos de superfície nos períodos críticos sem chuva em função da baixa taxa de infiltração dos solos. O autor afirma ser o tipo de manejo empregado nas microbacias que influenciam diretamente nessa situação. Por outro lado, o mesmo autor ressalta que em função da maior taxa de infiltração em microbacias florestadas pela silvicultura, a vazão superficial sofre menos oscilações em função da falta de chuva.

Farley et. al. (2005), após uma revisão de estudos feitos em várias partes do mundo, concluiu pontualmente que a conversão de pastagens ou áreas de vegetação nativa arbustiva em florestamentos ou reflorestamentos poderá resultar na diminuição do deflúvio médio anual com o aumento da idade das árvores. Em locais onde o deflúvio médio anual for menor que 10 % da precipitação média anual (PMA), o córrego poderá ter o fluxo de água superficial interrompido. Além disso, em locais onde o deflúvio médio anual for igual a 30 % da PMA, a redução esperada é de 50 %.

Sharda et. al. (1988), detectaram que na Índia, no período seco (Janeiro a Abril) a plantação do Bluegum (*Eucalyptus globulus*) pode reduzir em 23 % o deflúvio da microbacia. Em local com precipitação média de 1300 mm/ano, Samraj et al. (1988), afirmara que microbacias com cultivo de *Eucalyptus globulus* podem reduzir o deflúvio em média 16 % para uma rotação de 10 anos em relação ao ecossistema original.

Nosetto (2005), comparou o rendimento hídrico em microbacias florestadas (*Eucalyptus grandis*) com o rendimento e pastagem do pampa argentino e concluiu que dos cerca de 1350 mm anuais, a produção de água na pastagem seria de 720 mm/ano e no eucalipto de 200 mm/ano. O autor utilizou imagens de satélite para estimar a evapotranspiração dos dois locais. Os resultados destoam das demais pesquisas que utilizaram o mesmo objeto de estudo em áreas semelhantes no Pampa.

Panario (2006), considerou que as plantações florestais podem reduzir a produção de água em aproximadamente 70% sobre o ciclo hidrológico do pampa uruguaio. Sabará (1999), ao comparar vazões em pequenas bacias florestadas e com pastagem agrícola em MG, concluiu que apenas na estação chuvosa a vazão dos córregos em áreas florestais foi superior às vazões dos córregos das áreas agrícolas. Nas estações secas, as diferenças entre as vazões, foram consideradas insignificantes.

Burch et al. (1987) estudaram de maneira comparativa o comportamento hidrológico de duas bacias hidrográficas, uma florestada e outra mantida apenas com gramíneas por um período de mais de 80 anos. As diferenças foram marcantes, independentemente das condições antecedentes de umidade de solo. Na bacia com gramíneas foram verificados altos picos de descarga durante os períodos chuvosos, enquanto que nas áreas florestais os picos foram muito menores.

Dos vários estudos disponíveis na literatura nacional e mundial, constata-se que o eucalipto trás, com o devido tempo, uma regularização do deflúvio nas microbacias, acompanhado logicamente de uma redução na produção de água na ocasião de plantios realizados em áreas que nunca abrigaram floresta de tipo algum. No entanto, o que pode tornar esse fato um problema, diz respeito ao quanto e quando, essa diminuição na produção de água, afetará os usuários do recurso hídrico na bacia.

Na região pertencente ao Bioma Pampa, ao se analisar os usos do solo sob o ponto de vista hidrológico, a degradação é freqüente e crescente. A criação de gado é economicamente importante na metade sul do RS e preserva a biodiversidade da flora campestre, mas destrói a vegetação ciliar e contamina o curso de água direta e indiretamente. A cultura do arroz, da mesma forma, é social e economicamente adequada, no entanto é cultivada na várzea dos rios, os quais perdem a mata ciliar e seu efeito “esponja”, em favor da maior área de plantio. Além disso, são um dos maiores responsáveis pela eutrofização do curso de água em bacias rurais.

Estes fatos, deveriam também chamar a atenção, daqueles que somente agora, despertaram para a importância em se preservar a hidrologia desse singular bioma. Todas as questões recentemente levantadas, a respeito da função hidrológica do eucalipto, são pertinentes na atual conjectura. No entanto, as pesquisas realizadas, trazem respostas desconhecidas, algumas tendenciosas e muito específicas aos locais nos quais foram aplicadas, não sendo aplicáveis ao Bioma Pampa.

Nesse sentido, a necessidade de se verificar as questões hidrológicas da silvicultura do eucalipto no Pampa, é urgente. Além disso, em função das grandes disparidades geomorfológicas que fazem parte do Pampa gaúcho, fica evidenciada a necessidade de instalação de uma rede de microbacias experimentais nas áreas com silvicultura.

#### 4.7.4 Balanço hídrico

Segundo Silveira (2000), a bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório. É na bacia hidrográfica onde se processam os principais fenômenos físicos, influenciados pelas suas características, e pela dinâmica da água no seu interior.

De acordo com o mesmo autor, a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico na qual a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado, considerando-se como perdas intermediárias os evaporados, transpirados, captados e infiltrados profundamente.

A evapotranspiração é como um conjunto de perdas evaporativas de área vegetada (LIMA, 1996). Essa variável, seria portanto, controlada em grande parte por condições meteorológicas, em função dos elementos como energia solar, velocidade do vento, temperatura do ar, umidade e outras variáveis climáticas.

A estimativa da evapotranspiração pode ser obtida por meio de métodos indiretos, por meio de equações empíricas que incorporam variáveis meteorológicas. Dessas equações citam-se a de *Thornthwaite*, *Penman* e *Thornthwaite-Holzman* (MOSCA, 2003)

Um método direto de estimativa da evapotranspiração de uma bacia hidrográfica, baseado no princípio da conservação da massa, foi apresentado por Lima (2008) e pode ser representado conforme Equação 3.1:

$$P = (T + I_c + I_p + E_0) + Q \pm \Delta_s \pm L + U$$

(3.1)

Onde, “P” é a precipitação incidente; “T” é a transpiração da cobertura vegetal; “I<sub>c</sub>” é interceptação da precipitação pela copa das plantas; I<sub>p</sub> é a interceptação do piso e/ou serrapilheira; “E<sub>0</sub>” é a evaporação do solo e de superfícies líquidas; “Q” é o deflúvio da bacia; “ΔS” é a variação do armazenamento de água no solo; “L” é o vazamento freático e “U” é o vazamento, aquela água que passa por fora do leito.

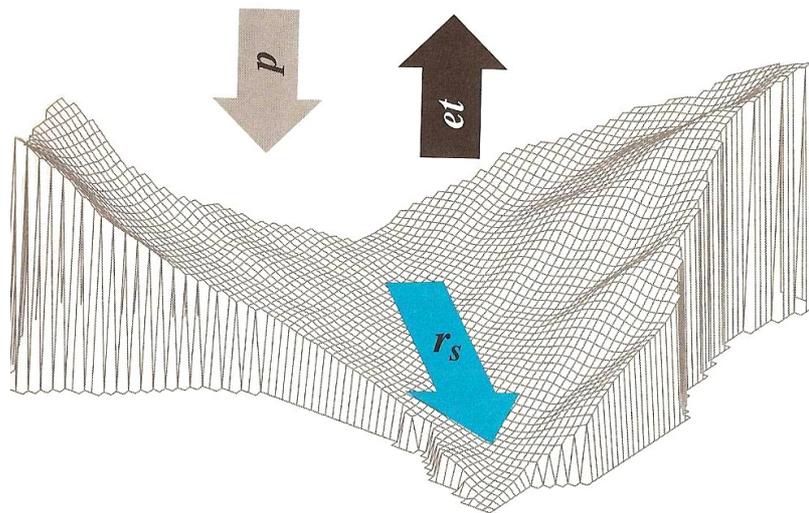
Segundo Collischonn e Tassi (2008) em intervalos de tempo longos, como um ano ou mais, a variação de armazenamento de água no solo (ΔS) pode ser desprezada na maior parte das bacias e a equação pode ser reescrita.

Supondo uma bacia hidrográfica ideal, na qual todos os fluxos de entrada e saída estão sob controle experimental e que não haja vazamentos de nenhuma natureza (L e U) nem percolação profunda, o modelo pode ser representado como mostra a Equação 3.2 e ilustrado pela Figura 4.7.

$$\text{Precipitação} - \text{Evapotranspiração} - \text{Deflúvio} = 0$$

(3.2)

Segundo Mosca (2003), os resultados de bacias experimentais que avaliam a evapotranspiração, medida por meio da diferença entre a precipitação anual e o deflúvio anual de uma microbacia hidrográfica contendo cobertura florestal, permitem uma primeira avaliação do uso ou consumo de água pela floresta plantada ou exótica, em termos do efeito no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.



**Figura 4.7 - Balanço hídrico simplificado de bacias hidrográficas.**

Fonte: Collischonn e Tassi (2008) adaptado de Hornberger et al. (1998).

Para fins ilustrativos, na Tabela 4.4, apresenta-se o balanço hídrico realizado por Pilgrim et al. (1982), em microbacia florestada com eucalipto na Austrália, do qual obtiveram os seguintes resultados:

**Tabela 4.4 – Balanço hídrico de microbacia florestada com *Eucalyptus* sp.**

Processo	<i>Eucalyptus</i> (mm)
Precipitação Anual	895
Interceptação Anual	95
Transpiração + Evaporação	638
Deflúvio Anual	127
Varição no Armazenamento do Solo	35

Fonte: Pilgrim et al. (1982)

#### 4.7.5 Componentes do monitoramento hidrológico

Segundo Goldenfum (2001), o planejamento das observações a serem efetuadas em uma bacia depende dos objetivos da pesquisa e das condições naturais da região. Os programas de monitoramento de bacias similares, segundo o mesmo autor, localizadas em regiões hidrológicas semelhantes, podem diferir enormemente, não apenas em função dos objetivos dos estudos, mas também da disponibilidade de recursos físicos, financeiros e de pessoal especializado.

Além disso, já no início dos estudos, deverão ser determinados o grupo de variáveis a serem monitoradas para se verificar a sua influência dentro da microbacia. De uma maneira geral os elementos normalmente considerados, respeitando cada objetivo, são: precipitação, interceptação, evaporação e evapotranspiração, águas superficiais, águas sub-superficiais, infiltração, erosão e sedimentação, qualidade da água e por fim dados climatológicos.

##### 4.7.5.1 Nível e vazão

O conhecimento das condições dos fluxos é uma ferramenta primordial no gerenciamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas e este reconhecidamente necessário frente ao cenário atual de degradação das águas e à necessidade crescente de novas fontes de abastecimento.

A determinação da vazão de um curso de água é um processo que envolve equipamentos e técnicos especializados. Em médias e grandes bacias, o monitoramento de cota-vazão em pequenos intervalos de tempo, não se fazem necessárias, pois não comprometem o trabalho do hidrólogo no conhecimento pleno do regime fluvial dos rios (BARRETO, 2006). A série de dados cota-vazão, quando relacionadas, fornece uma ferramenta primordial aos estudos em hidrologia, chamada curva-chave.

Em bacias maiores, o leito do rio sofre pouca alteração ao longo do tempo, necessitando de alguns ajustes na curva-chave de período em período. Segundo Azevedo (1994), calibrar a curva-chave significa encontrar a função ou traçado que melhor se ajuste aos pares de pontos cota-vazão, obtidos nas medições de vazão.

Em microbacias, a tendência é que o leito do curso de água se altere mais rapidamente, havendo portanto, a necessidade de calibração frequente da curva-chave ou utilização de estruturas hidráulicas, com curva-chave pré-definida, para medição vazão.

#### *4.7.5.2 Precipitação*

A precipitação é entendida como toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. As precipitações representam o elo entre os fenômenos meteorológicos, propriamente ditos e os escoamentos superficial e subterrâneo (BARRETO, 2006).

Existem várias possibilidades de medir a precipitação. A maneira mais usual é com pluviômetros e pluviógrafos. O pluviômetro é um instrumento dotado de um copo coletor com uma abertura pré-determinada (normalmente 200 mm) conectado a um reservatório do qual se transfere a água captada para um recipiente medidor. Já o pluviógrafo, é semelhante ao pluviômetro, porém, com a capacidade de registrar sistematicamente os dados coletados, sendo de forma analógica ou digital. Este último, segundo Santos et. al. (2001), é utilizado quando se pretende quantificar a intensidade da chuva ou eventos isolados, por exemplo.

Precipitação é medida com a altura da lâmina de água que seria acumulada em superfície plana se nenhuma perda ocorresse (MARTINS E PAIVA 2001). As redes de coleta de dados de precipitação são constituídas em geral de pluviômetros

e um número de reduzido de pluviógrafos em locais de maior interesse ou conforme a natureza da variável a ser avaliada na bacia. Entre os hidrólogos, se admite como desejável, uma estação pluviométrica a cada 400 ou 500 km<sup>2</sup>. Na França essa espacialização fica em um pluviômetro a cada 200 km<sup>2</sup>, na Inglaterra 1 para cada 50 km<sup>2</sup> e nos EUA 1 a cada 310 km<sup>2</sup> (GARCEZ, 1976). No Rio Grande do Sul os pluviômetros estão distribuídos a cada 600 km<sup>2</sup> e no Estado de SP a cada 250 Km<sup>2</sup>.

A Organização Mundial de Meteorologia – OMM (World Meteorology Organization – WMO), no intuito de melhor organizar e planejar as redes mundiais em 1965 criou um manual de praticas hidrológicas contendo regras gerais e recomendações sobre densidade pluviométrica. Na décima quinta edição do referido manual (WMO, 1994) trata de que em unidades fisiográficas planas e interiores, a densidade seja de 575 Km<sup>2</sup> por estação.

No entanto, para avaliação da precipitação com vistas ao balanço hídrico em microbacias florestadas, usualmente, utiliza-se pluviômetros instalados em torres sobre as copas das árvores em posição central na microbacia para um registro mais preciso da precipitação incidente. Esta metodologia tem o inconveniente de possuir um alto custo de instalação e necessidade de pessoal capacitado próximo ao local para fazer a coleta dos dados.

#### 4.7.5.3 Intercepção

A intercepção da chuva pela cobertura vegetal é uma componente de grande importância do ciclo hidrológico; a intercepção varia de acordo com o aspecto morfológico da floresta (idade, copa, arquitetura) ou outra vegetação e o regime de precipitação dominante na região.

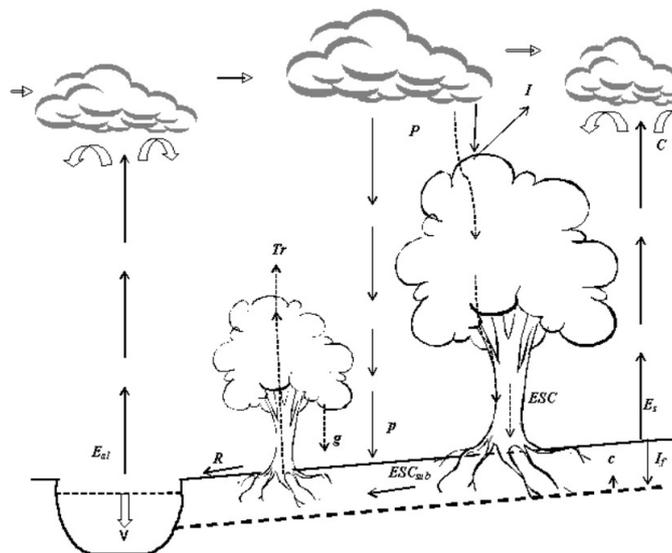
A precipitação que atravessa o dossel e chega até o “*litter*” do solo, depende da natureza e densidade da cobertura vegetal, haja vista, que essa cobertura, retém temporariamente certa quantidade de precipitação incidente, constituindo-se assim, no processo de intercepção (FERREIRA et. al, 2005).

Miranda (2004), definiu precipitação total, como a quantidade de chuva que atinge o topo de um específico dossel durante um determinado intervalo de tempo. Observa-se que o processo de retenção de água livre se inicia pela intercepção do volume total precipitado nas camadas superiores do dossel e, posteriormente, nas

camadas inferiores, até que se atinja a capacidade de armazenamento de água dessa copa. A partir deste estágio, se a quantidade de água precipitada que atinge as plantas for superior às capacidades de armazenamento dessas camadas, observa-se o início do gotejamento através da copa (*throughfall*), além do escoamento superficial pelos ramos e tronco (*stemflow*).

A resultante das quantidades de água percolada pelos ramos e o escoamento pelo tronco ou caule, denomina-se de precipitação efetiva. Esta, quando subtraída da chuva total, representa a quantidade retida pela cobertura vegetal presente, chamada interceptação e retornando à atmosfera, via evaporação (MIRANDA, 2004).

A resultante das quantidades de água percolada pelos ramos e o escoamento pelo tronco ou caule, denomina-se de precipitação efetiva. Esta, quando subtraída da chuva total, representa a quantidade retida pela cobertura vegetal presente, chamada interceptação e retornando à atmosfera, via evaporação segundo Miranda (2004). O ciclo hidrológico, enfatizando a interceptação, foi bem representado por Oliveira et al. (2008) como mostra a Figura 4.8



**Figura 4.8 – Ciclo hidrológico enfatizando o processo de interceptação da precipitação pela vegetação, onde “P” é a precipitação, “p” a precipitação livre, “I” a interceptação, “C” a condensação, “Tr” a transpiração, “Es” evaporação do solo, “Eal” evaporação da água livre, “g” o gotejamento, “ESC” escoamento pelos troncos, “R” o escoamento superficial, “ESCsub” escoamento subterrâneo, “If” infiltração, “c” capilaridade, “V” vazão.**

Fonte: OLIVEIRA et al. 2008.

A estimativa da interceptação, principalmente em florestas plantadas, embasa outros estudos relacionados ao uso da água em florestas. Além disso, traz subsídios ao bom entendimento do papel hidrológico desempenhado pelo eucalipto nas microbacias nas quais são cultivados (BAUMHARDT et. al, 2009). Segundo o mesmo autor, a análise da intensidade de amostragem dos instrumentos de coleta é primordial em bases experimentais para medição de precipitação interna, em função do número de variáveis relacionadas.

Gênova et al. (2007), afirmam que a interceptação não possui relação diretamente proporcional a biomassa vegetal quando se compara duas espécies diferentes. A autora comparou a interceptação entre várias espécies e constatou para uma plantação homogênea de *Pinus elliottii*, com cobertura de copa de 78%, e para uma plantação homogênea de *Tapirira guianensis* com 72% de cobertura de copa, valores de 26,7 e 30,1 mm respectivamente.

Além da interceptação das copas de plantas do estrato superior, autores como Collischonn e Tassi (2008) afirmam que para prados (pastagem) a interceptação varia de 5 a 10 %, o que deve variar muito em função da característica da vegetação local, muito mais sensível ao tipo de clima de plantas arbóreas.

Um fator importante citado por Lima (2008), refere-se a eventos com pouca chuva precipitada, com cerca de 5 mm por exemplo, nesse caso, quase toda a água será retida pelas copas e de lá evaporada diretamente. Seria a quantidade de chuva “gasta” para cobrir toda a superfície das folhas e só depois então, haver o deslizamento da gota, que irá contribuir para a precipitação interna.

#### 4.7.5.4 Infiltração

Martins e Paiva (2001), a capacidade de infiltração é a taxa máxima com que um determinado solo pode absorver água em uma dada condição. É um parâmetro da mais alta importância no processo de transformação de chuva em vazão. Seu valor depende do conteúdo de água no solo, permeabilidade, temperatura do solo e da profundidade da camada impermeável, grau de compactação e cobertura vegetal.

A cobertura florestal, especialmente aquela com desenvolvimento de sub-bosque, em regiões com maior energia erosiva, tende a diminuir o transporte de

sedimentos ou perda de solo, pela quebra da energia cinética das gotas de chuva, favorecendo a manutenção de taxas elevadas de infiltração (LIMA, 1986).

Uma diferenciação na taxa de infiltração da água do solo em povoamentos florestais, maior do que aquelas encontradas em solos com uso pecuário (SABARÁ, 2004), pode, em parte, ser explicada por Lima (2008) quando cita que nesta interação com a copa da floresta, não é apenas em termos quantitativos que a precipitação incidente é modificada, mas também em termos da taxa com a qual ela é redistribuída ao solo.

Trimble e Weitzman (1954), colocando pluviógrafos, ao invés de pluviômetros, debaixo da copa, realmente verificaram que no piso florestal a precipitação interna chega com intensidade diminuída em até 20 %, relativamente à intensidade da precipitação incidente.

Nas bacias agrícolas, por outro lado, com solos formados basicamente por pastagens em diferentes graus de degradação, o escoamento base fica prejudicado pela menor taxa de infiltração, o que favorece o escoamento direto e a ocorrência de picos pronunciados de vazão (SABARÁ, 2004).

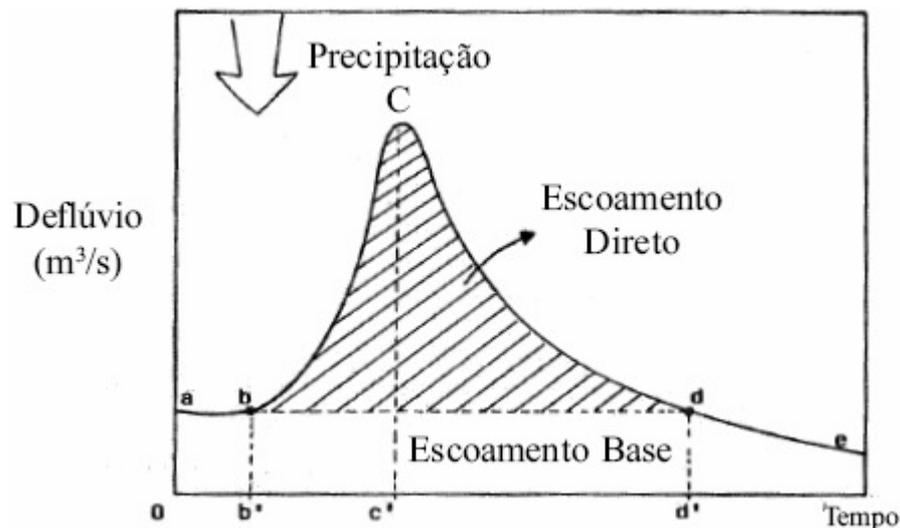
Com a utilização de isótopos de oxigênio, sílica e nitrogênio para estudar a hidrologia de uma bacia agrícola (19,8 ha) na Pensilvânia, Dewalle e Pionke (1994), concluíram que durante a precipitação de maior intensidade ocorrida no período de estudo, 53% da água que chegou ao curso d'água derivou do escoamento direto (superficial e subsuperficial). Em 8 anos de estudos, Lal (1996) encontrou para solos da Nigéria, uma redução na taxa de infiltração de 115,8 mm/h para 5,3 mm/h, após a conversão de uma área de florestas nativas para pastagens e agricultura nômade, respectivamente.

Além disso, Lull (1964), verificou taxas de infiltração de 24,1 e 42,7 mm/ha, para pastagens degradadas ou abandonadas, respectivamente. Ecossistemas florestais com piso intacto, em contraste, apresentaram taxas de infiltração de 59,9 e 76,2 mm/ha.

#### 4.7.6 Curvas características

##### 4.7.6.1 Hidrograma

Segundo Lima (2008), a representação gráfica (Figura 4.9) das variações do deflúvio com o tempo recebe o nome de hidrograma ou hidrógrafa. O hidrograma, desta maneira, é a representação gráfica integrada das características fisiográficas, climáticas e vegetais que governam as relações entre a precipitação e o deflúvio em microbacias.



**Figura 4.9 - Representação do hidrograma unitário. Na qual o “bC” é o braço ascendente, “Ce” é o braço de recessão, “b’ ” é o início do escoamento direto, o “c’ ” é o pico (vazão instantânea máxima), “d’ ” é o fim do escoamento direto, “b’c’ ” é o tempo de retardamento, “b’d’ ” é a duração do escoamento direto e “bd” é a linha arbitrária de separação entre o escoamento direto e o escoamento base.**

Fonte: Lima (2008)

Para Silveira e Silveira (2001), o fluviograma ou hidrograma, é o registro temporal da produção hídrica de uma bacia, constituindo-se na série cronológica das vazões, podendo ser descrito como uma sucessão de cheias intercaladas por períodos de estiagem. Quando somente os aquíferos mantêm a vazão no curso de água, essa vazão decrescente no tempo é chamada curva de depleção ou

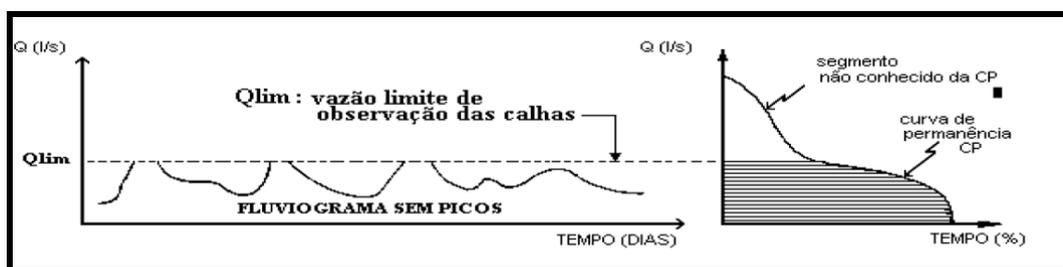
deplecionamento. Por outro lado, quando há contribuição do escoamento de cheias, essa curva chama-se curva de recessão.

#### 4.7.6.2 Curva de permanência

A curva de permanência representa a relação entre a magnitude e a frequência de vazões diárias, semanais, mensais (ou de qualquer outra duração) de uma determinada bacia hidrográfica, fornecendo a percentagem do tempo em que uma dada vazão é igualada ou superada num período histórico definido (VOGUEL e FENNESSEY, 1994).

A avaliação de disponibilidades hídricas em pequenas bacias (áreas menores que 100 km<sup>2</sup>), segundo Silveira (1997) e Silveira e Tucci (1998) é condição necessária para avaliação de pequenos aproveitamentos de recursos hídricos, preservação ambiental e instrução de processos para outorga de uso dos recursos hídricos.

Segundo Silveira e Tucci (1998) os segmentos do fluviograma de maior interesse à avaliação de disponibilidade hídrica natural estão no trecho de curva de permanência compreendido entre 50 % e 95 % do tempo, não havendo portanto, a necessidade de se monitorar as altas vazões com baixa permanência no tempo, gerando assim, os hidrogramas sem cabeça, conforme Figura 4.10.



**Figura 4.10 – Característica dos fluviogramas e curva de permanência em monitoramento de pequenas bacias.**

Fonte: Silveira (1997) e Silveira e Tucci (1998).

Para atingir os objetivos da Outorga, por exemplo, Sugai et. al. (1998) ressaltaram a necessidade de determinar o equilíbrio entre as demandas dos

diversos usuários e de se garantir vazões mínimas para assegurar a preservação da qualidade ambiental, e para tanto, é primordial identificar a disponibilidade de água para cada risco pré-fixado, ou seja, a vazão mínima que se pode retirar de um corpo d'água com certo nível de garantia, sendo a Curva de Permanência uma metodologia bastante difundida para esta identificação.

Pinto et. al. (1976) ressalta ainda que, esta técnica permite identificar a potencialidade natural do rio em estudo, destacando não só a vazão mínima, mas o grau de permanência de qualquer valor de vazão. Desta forma, fornece resultados diretos para o aproveitamento das disponibilidades do curso d'água, sendo muito utilizada em estudos energéticos e em estimativas dos efeitos de um pequeno reservatório sobre a vazão mínima garantida, dentre outras aplicabilidades.

As curvas de permanência se constituem também em um funcional instrumento de comparação entre as características (relevo, vegetação, uso do solo, precipitações) de bacias hidrográficas distintas, principalmente no que se refere à distribuição de vazões.

Cruz e Tucci (1998) e Cruz (2001), salientam que um dos atributos importantes da curva de permanência, que deve ser observado pelo hidrólogo, é que duas curvas diferentes, uma mensal e uma anual, por exemplo, para a mesma seção de um rio, jamais poderão ser comparadas, por se tratar única e exclusivamente de um resultado obtido com o ordenamento de uma série histórica de dados específica, não podendo ser comparada com uma série histórica de período de tempo diferente.

Segundo Cruz e Tucci (2008), usualmente faz-se a curva de permanência contemplando-se todo o período de dados da série histórica, omitindo dessa forma, os efeitos sazonais do regime hidrológico a cada ano ou ainda as diferenças inter-anuais. Os mesmos autores afirmam ainda que, para se considerar a sazonalidade em uma curva de permanência, haveria a necessidade de se determiná-la para cada mês do ano, para todos os anos da série. Dessa forma, a vazão de permanência 90%, para Janeiro e Julho, por exemplo, não necessariamente seriam iguais. Essa resposta permitiria distinguir condicionantes mensais de sazonalidade.

No Brasil, a idéia de considerar esse aspecto da sazonalidade do regime hidrológico com a estimativa da curva de permanência para cada mês do ano foi sugerida por Kelman (1997) e Silveira et al. (1998). Da mesma forma, Ribeiro (2000) em estudos relativos a critérios de outorga, considerou vazões de permanência

empíricas mensais em seus ensaios de outorga, e usando de simulações, comprovou que a estratégia sazonal obteve melhores resultados quando comparadas a utilização de um único valor anual.

Em CRH (1999), é demonstrada a necessidade de se obter a disponibilidade sazonal de água, principalmente devido ao fato de a maior demanda por água para irrigação de lavouras variarem de mês a mês entre os meses de Dezembro a Março, uma vez que no RS, os meses com maior demanda hídrica coincidem com a redução natural de oferta hídrica.

#### 4.7.6.3 Vazões mínimas

A faixa das vazões mínimas, segundo a conceituação de Smakhtin (2001), representa o limite inferior da distribuição de probabilidades das vazões para o período histórico selecionado, devido ao fato de os valores auto-correlacionados estatisticamente serem tratados como valores independentes.

Segundo Cruz (2001), a conceituação de vazões para conservação ambiental tem evoluído no tempo. Até a década de 80, as “vazões mínimas” era o termo mais comum utilizado para descrever as vazões necessárias para satisfazer os usos no próprio curso d’água (*“instream uses”*), como preservação de peixes e habitats, navegação, recreação, conservação da qualidade da água, entre outros usos. Sob essa perspectiva, o ecossistema aquático era visto como inteiramente restrito ao aspecto linear delimitado pelos eitos e margens do canal principal e pelas transferências longitudinais (HARRIS et al, 2000).

A partir da década de 80, emergiram as teses segundo as quais, para a manutenção dos ambientes era necessário considerar o regime de flutuação natural dos rios. Para isso, recomendações foram desenvolvidas no sentido de “imitar” a natureza, foi quando então, sugeriu-se vazões diferenciadas conforme cada estação do ano, não se utilizando apenas das vazões mínimas, mas também das altas periódicas, para remoção do sedimento depositado no leito (CRUZ, 2001)

Segundo Silveira e Silveira (2001), o conhecimento das vazões mínimas das bacias é básico em estudos de disponibilidade hídrica e preservação ambiental, pois estão naturalmente vinculadas a períodos críticos de oferta de água pelo curso d’água que condiciona a demanda.

Em períodos de estiagem, nos quais não há recarga por um determinado tempo, as reservas hídricas do subsolo que afloram das nascentes, começam a esgotar-se chegando a ponto de secar.

A vazão mínima apresenta-se caracterizada na porção final da curva de permanência. Em estudos de recursos hídricos, normalmente utiliza-se a chamada  $Q_{95}$ , (com probabilidade de ocorrência de 95%), ou em outras palavras, é aquela vazão que é igualada ou superada em 95% do tempo considerado na confecção da curva.

Além disso, Silveira e Silveira (2001), salientam que, apesar da natureza das vazões mínimas ser conhecida, seu estudo é dificultado pela complexidade dos processos hidrológicos da bacia hidrográfica, cujo conhecimento da interação entre rio e aquífero é sempre precário. Por esse motivo, o processo mais simples de se estudar vazões mínimas, é usando dados fluviométricos.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Características da área de estudo**

O Bioma Pampa (Figuras 4.5 e 5.1), segundo Hasenack (2007), teria aproximadamente 131.041,38 km<sup>2</sup> ou 13,1 milhões de hectares o que representaria aproximadamente 58,5% do território Gaúcho. Entretanto, segundo o mesmo autor, desses 13,1 milhões de hectares, restam preservados cerca de 41% (pouco mais de 5 milhões de hectares), em função do avanço das lavouras e em muitos casos pelo avanço excessivo da pecuária e ultimamente da silvicultura.

A região geomorfológica do planalto da Campanha, a maior extensão de campos do Rio Grande do Sul, é a porção mais avançada para oeste e para o sul do domínio morfoestrutural das bacias e coberturas sedimentares as quais receberão grande parte dos investimentos em silvicultura. Nas áreas de contato com o arenito Botucatu, ocorrem os solos podzólicos vermelho-escuros, principalmente a sudoeste da cidade de Quaraí e a sul e sudeste da cidade de Alegrete, onde se constata o fenômeno da arenização. São solos, em geral, de baixa fertilidade natural e bastante suscetíveis à erosão.

Segundo Streck (2008), a área que delimita-se ao norte com o Rio Ibicuí, a oeste com o rio Uruguai, ao sul com o Rio Quaraí e a leste com a bacia do rio Ibicuí corresponde ao segmento sul-norte da Depressão Periférica é chamada de região da Campanha do RS.



**Figura 5.1 – Divisão dos Biomas brasileiros.**

Fonte: IBGE (2006)

## 5.2 A Bacia do rio Santa Maria

O estudo se concentra em parte na “Estância<sup>16</sup> Tarumã” (43,59 km<sup>2</sup>) que pertence à multinacional Stora Enso de papel e celulose e outra parte na fazenda São Carlos, ambas no município de Rosário do Sul e que fazem parte da Bacia Hidrográfica do rio Santa Maria.

O rio Santa Maria nasce à nordeste do município de Dom Pedrito e tem sua foz no rio Ibicuí que, por sua vez, deságua no rio Uruguai. A sua bacia hidrográfica (Figura 5.2) está localizada na fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul, fazendo divisa com o Uruguai, abrangendo seis municípios, numa área de 15.754 km<sup>2</sup>, a qual corresponde a cerca de 5,6% da área do RS segundo Silveira et al. (2005).

Segundo UFSM (2006), a bacia do rio Santa Maria caracteriza-se especialmente pela atividade agropecuária, apresentando paisagens típicas da fronteira gaúcha, onde a pecuária extensiva tradicional se mescla com a orizicultura

---

<sup>16</sup> No RS, estância (que quer dizer lugar de estar) é o estabelecimento rural destinado especialmente à criação de gado bovino, podendo haver também ovinos ou eqüinos (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Est%C3%A2ncia>). No caso específico, apesar de o local estar coberto por silvicultura, foi preservado o nome da propriedade, visando menor impacto cultural local.

moderna, em campos entremeados com várzeas ocupadas por rotação de pastagem natural e lavoura de arroz.

Esta paisagem apresenta um eixo de mudanças leste-oeste, que reflete as transições do Escudo rio-grandense, Depressão Central e Planalto da Campanha, configurando os padrões que caracterizam as diferenças observadas entre as sub-bacias referentes aos braços Santa Maria e Ibicuí-da-Armada, que possuem suas cabeceiras nas margens opostas deste gradiente.

De acordo com Hausman (1995), pelo sistema Köppen, pode-se classificar a bacia do rio Santa Maria em dois tipos essenciais de clima, o C<sub>fah</sub> e o C<sub>fak</sub>. Ambos são temperados quentes ou mesotermiais, tipo fundamental, mesotermal sem estação seca e grupo subtropical com verões quentes. O C<sub>fah</sub> representa a maior porção, entorno de 75% da área da bacia segundo Descovi Filho (2008), com invernos moderados, e temperatura média anual superior a 18°C. Já o C<sub>fak</sub>, segundo o mesmo autor, apresenta inverno frio, com temperatura média anual inferior a 18°C.

Segundo Eckert e Caye (1995) o clima é Temperado Tropical, apresentando uma faixa de variação de precipitação entre 1500 a 1600 mm/ano. Apresenta ainda uma temperatura média anual em torno dos 18°C, com mínima média próximo dos 12°C e máxima média em torno dos 23°C, podendo apresentar temperaturas negativas no período de outono-inverno com geadas.



**Figura 5.2 – Bacia do rio Santa Maria com os municípios componentes.**

Fonte: UFSM, 2006.

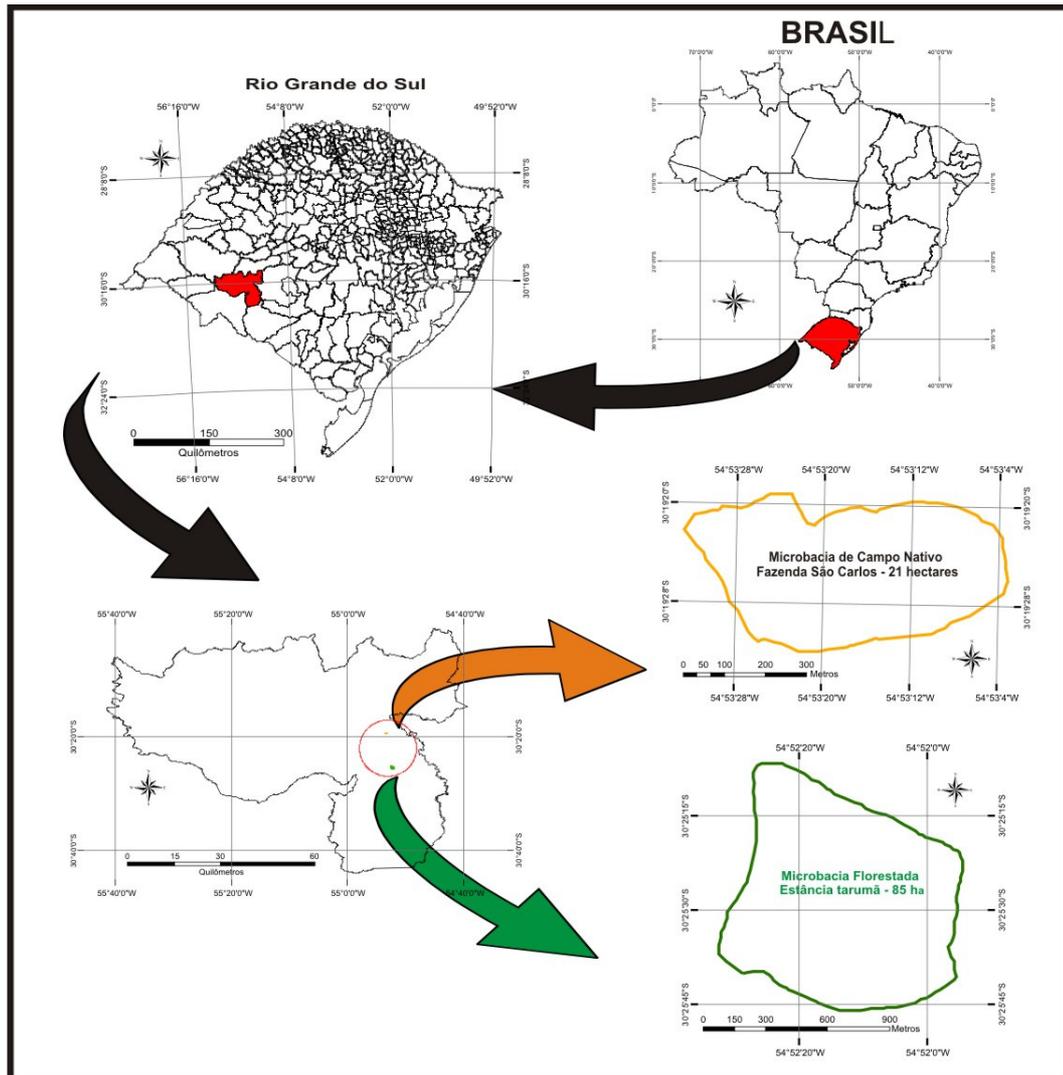
### 5.3 As áreas de estudo

Parte da metodologia implementada refere-se, à escolha de duas microbacias com características semelhantes de solo, regime de precipitação, relevo, porém com usos distintos. Para tanto, optou-se em realizar o estudo no município de Rosário do Sul, localizado na porção sudoeste do RS, entre os rios Santa Maria e Ibicuí da Armada, ambos pertencentes a bacia do Rio Santa Maria (Figura 5.3)

Um dos pré-requisitos da escolha dos locais foi o de haver água o ano inteiro nos córregos selecionados, condição esta, que dificultou a localização de microbacias pareadas adequadas. Os dois locais que mais se aproximaram das características desejáveis para o estudo distanciam-se 13 km em linha reta no sentido Norte/Sul. Partindo-se do Município de Rosário do Sul em direção ao Sul, à 7 km fica a microbacia de campo e logo após a florestada.

As duas microbacias, segundo Streck et al. (2008), situam-se sobre um Argissolo Bruno Acinzentado Alítico em transição para os Planossolos da Depressão Central característico da bacia do Rio Santa Maria.

A primeira parte do experimento foi instalada em uma microbacia de cabeceira, com pecuária extensiva coberta por pastagem nativa do bioma pampa, denominada de “microbacia de campo” (MC), também chamada de campo nativo no decorrer do texto. A área de contribuição da microbacia tem 21 hectares (0,21 km<sup>2</sup>), conforme a Figura 5.4 e pertence ao agropecuarista Sr. Ildo Spanevello.



**Figura 5.3 – Mapa de localização das microbacias com respectivas coordenadas.**

A segunda parte da base experimental foi instalada também em uma microbacia de cabeceira com silvicultura de eucalipto para celulose, pertencente à multinacional Stora Enso e denominada “microbacia florestada” (MF), conforme a Figura 5.5. O cultivo do *Eucalyptus* nesse local é regido pela legislação ambiental do RS, além de normas de certificação como a ISO 14.000. A área de contribuição desta microbacia é de 92 hectares (0,92 km<sup>2</sup>), sendo 48,84 ha destes, cobertos por eucaliptos e 43,2 ha de Área de Preservação Permanente somados à Reserva Legal (campo nativo abandonado). Nesta área são cultivados 3 espécies diferentes de eucalipto, sendo eles o *Eucalyptus urograndis*, *E. grandis* e *E. dunnii*, com destaque ao *E. urograndis* por constituir 91,4% da área florestada da microbacia.



**Figura 5.4 – Microbacia de campo em Rosário do Sul – RS**



**Figura 5.5 – Microbacia florestada em Rosário do Sul – RS**

## **5.4 Pluviometria**

### **5.4.1 Estações pluviométricas**

Os dados de precipitação foram obtidos das estações pluviométricas como mostrados na Tabela 5.1:

**Tabela 5.1 - Localização e início do monitoramento nos pluviômetros utilizados.**

	Nome	Coordenada E (UTM)	Coordenada S (UTM)	Instituição/ Proprietário	Início da Série ( mês/ano)
1	Pluviômetro Telemétrico	700610	6652481	ANA	06/2005
2	Pluviômetros de PVC	702012	6636159	Santa Ambrosina	12/1950
3	Pluviômetro <i>Ville de Paris</i>	702012	6636159	UFSM	02/2008
4	Pluviômetro <i>Ville de Paris</i>	703181	6641446	UFSM	02/2008
5	Estação Agrometeorológica	705853	6626346	Stora Enso Floresta RS	11/2006

Para a determinação da precipitação pluviométrica no aberto, foram utilizados dois pluviômetros “Ville de Paris” da HIDROMEC® com área de captação de 400 cm<sup>2</sup>.

Em função da MF e MC serem de difícil acesso e por haver a necessidade de medições diárias da precipitação, os pluviômetros foram instalados em locais que reunisse as melhores condições de coleta, que atendesse a metodologia de instalação e validade científica. O primeiro pluviômetro pertence à ANA (Agência Nacional das Águas) e está localizado na ponte sobre o rio Ibicuí da Armada distanciado 3 km antes da MC; o segundo pluviômetro pertence ao BFLORESTA – GERHI e foi instalado a cerca de 1,7 km após a MC no sentido Norte-Sul. O terceiro pluviômetro BEFLORESTA - GERHI foi instalado a cerca de 5,4km do segundo e a 6,2 km antes da MF. O quarto pluviômetro pertence à estação meteorológica da Stora Enso e fica a 3,2 km após a MF. Os quatro pluviômetros, Figura 5.6, formariam, portanto, a rede necessária para o cálculo adequado da precipitação pluviométrica nas áreas das microbacias.



**Figura 5.6 – Croqui de localização dos pontos com dados de chuva.**

Todos os dados de precipitação pluviométrica foram coletados por técnico florestal (pluviômetro Stora Enso), técnico agrícola (fazenda Santa Ambrosina), agricultora com Ensino Médio incompleto (fazenda São Carlos) e telemetria (pluviômetro ANA). Para os pluviômetros instalados pelo projeto Befloresta, do qual resulta este estudo, os observadores receberam o treinamento adequado e planilha padronizada da pesquisa, na qual os locais de preenchimento estavam de claros, objetivando diminuir as fontes de erro.

#### 5.4.2 Medições complementares da pluviometria

Para realizar medições complementares de pluviometria, cujo objetivo é permitir a avaliação da interceptação no meio da floresta, foi proposta a montagem de um instrumento e o teste durante várias situações de temperatura, vento, umidade do ar, intensidade pluviométrica, etc. Além disso, procurou-se ter embasamento para sanar as dificuldades, otimizar facilidades, validade e confiança do instrumento e capacidade de reproduzi-lo diversas vezes mantendo-se uma

uniformidade na sua construção ou mesmo um padrão de montagem, evitando-se assim mais uma fonte de erro de coleta.

O estudo da interceptação é bastante complexo e, portanto, a otimização e o dimensionamento correto do número de instrumentos a serem instalados no campo são determinantes para a redução das incertezas na quantificação.

A avaliação da precipitação interna em florestas plantadas ainda parece ser menos complexa de ser mensurada quando comparada a florestas nativas. Porém, alguns fatores como ETP, temperatura da folha, vento, grau de fechamento de copa, idade da floresta, intensidade de chuva e duração da chuva são difíceis de serem controlados e comparados no momento de se fazer o balanço de médias de interceptação.

Para a obtenção de mais uma componente do estudo, foram instalados uma rede de pluviômetros de precipitação interna, comumente chamados de interceptômetros, com abertura de coleta de 100 mm de diâmetro e distribuídos ao acaso sob as plantas de *Eucalyptus* dentro da MF, conforme Figura 5.7.

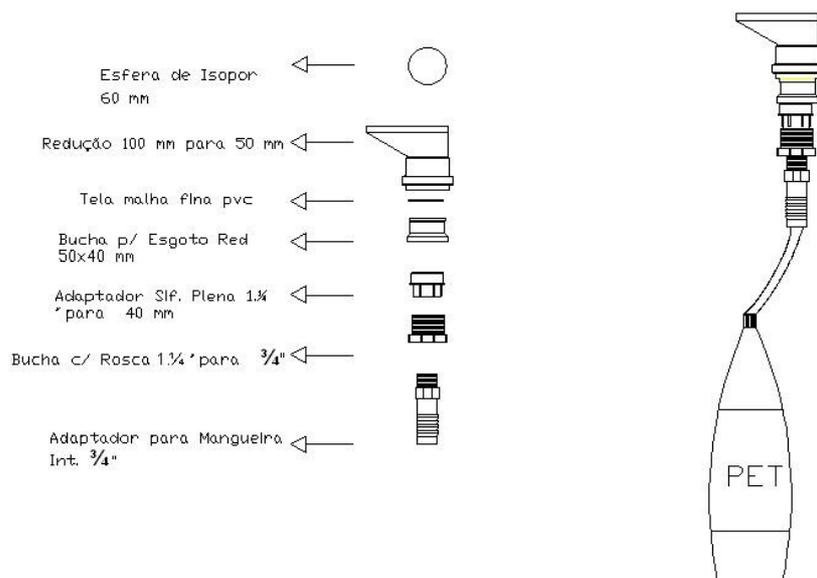


**Figura 5.7 – Interceptômetros distribuídos ao acaso na MF.**

Devido a grande variabilidade dos dados de interceptação, foi necessário avaliar-se a densidade ideal de interceptômetros por meio de análise estatística de estudo piloto. Inicialmente (22/04/08 até 31/01/2009), foram instalados 9

interceptômetros (11 coletas) e após primeira análise estatística (BAUMHARDT et al. 2009), foram colocados a mais 7 instrumentos, perfazendo 16 interceptômetros (com 4 coletas), totalizando 15 coletas, para toda a rede de interceptação, abrangendo todas as chuvas no período de Abril de 2008 a Maio de 2009.

O instrumento utilizado nesta pesquisa, apesar de ser chamado de interceptômetro, não avalia a interceptação da floresta, como inadvertidamente pode-se imaginar e sim, quantifica a chuva que atravessa o dossel e chega até o solo, ou seja, a precipitação efetiva. Estes instrumentos são denominados interceptômetros quando utilizados para avaliar interceptação e estes, foram desenvolvidos pelo grupo de pesquisa GERHI da UFSM, conforme a metodologia de Baumhardt et al., (2009) e apresentado na Figura 5.8.



**Figura 5.8 – Componentes dos interceptômetros.**

Fonte: Baumhardt et al. (2009)

Os interceptômetros foram instalados para se obter uma estimativa, não precisa, mas aproximada, de quantos milímetros de chuva ficam retidos na copas das árvores conforme o crescimento desta mesma árvore. A avaliação da interceptação iniciou-se em uma parcela na qual a idade das plantas era de 1,5 anos e logo após, transferiu-se os instrumentos para coletar os dados na floresta com 3 anos de idade, ambos dentro da microbacia florestada – MF.

Cada instrumento foi postado a 40 cm da superfície do solo, fixados com estacas e braçadeiras de PVC, no intuito de incluir na avaliação, a interceptação dos galhos mais baixos dos eucaliptos que situavam-se a cerca de 50 cm do solo.

Para armazenar a água da precipitação interna (PPI) e diminuir ao máximo as perdas por evaporação, fez-se covas de 20 cm de diâmetro e profundas o suficiente para caber 40 cm de um cano de PVC de 200 mm no qual foi acondicionada a garrafa para receber a água, como mostra a Figura 5.9. Esse método serve para diminuir a oscilação térmica nas garrafas das amostras e reduzir possíveis perdas por evaporação.



**Figura 5.9 – Vista superior e lateral do interceptômetro.**

A água coletada pelo instrumento ficou armazenada em recipientes do tipo “pet” de 2 litros e foram trocadas por outras garrafas vazias no momento da coleta (coletas periódicas em aproximadamente cada 15 a 20 dias, conforme disponibilidade climática e de pessoal). Os 16 frascos de cada coleta foram levados até o laboratório de Saneamento Ambiental da UFSM para se determinar a massa em balança de precisão e posteriormente transforma-los em milímetros de chuva pela Equação 4.1 do interceptômetro.

Ao considerar a densidade da água da chuva como aproximadamente  $1\text{g/cm}^3$  tem-se:

$1\text{ kg de água} = 1\text{ dm}^3\text{ de água} = 1\text{ L de água}$  e,  $1\text{L} / \text{m}^2 = 1\text{mm de lâmina de água}$ .

O valor em gramas de água sendo automaticamente convertido em litros resulta na Equação 4.1, específica do interceptômetro de 100 mm de diâmetro:

$$CC = \frac{X}{\pi \cdot (R_{pluv})} \quad \text{logo,} \quad CC = \frac{X}{0,007854} \quad (4.1)$$

Na qual, “**CC**” é a chuva coletada em L/m<sup>2</sup> o que equivale a altura de lâmina de água dada em mm de chuva, o “**X**” é o volume de água coletada no PET em litros e a constante **0,007854** é a área do pluviômetro pré-definida em m<sup>2</sup>.

Após a padronização dos dados, fez-se um tratamento estatístico para a obtenção das correlações entre as diversas variáveis presentes e influentes na validade estatística dos instrumentos. Dessa forma, baseado no piloto dos primeiros 9 interceptômetros, coleta C1 até a C11 e após, baseado nos 16 interceptômetros da coleta C12 até a C15, totalizando 15 períodos de coleta, calculou-se o número de coletores necessários para cada período “Cn” baseado no desvio padrão das amostras em cada período. O número de coletores foi obtido por meio da Equação 4.2 de determinação do tamanho de uma amostra com base na estimativa da média populacional:

$$n = \left( \frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{E} \right)^2 \quad (4.2)$$

Na qual, O “**n**” é o número de coletores calculados, “**Z<sub>α/2</sub>**” é o valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado (90% de confiança, Z = 1,645), “**σ**” é o desvio padrão populacional da variável precipitação interna coletada em cada conjunto de coletores por período de coleta de C1 a C15. E é o erro máximo da estimativa.

Para se quantificar a componente interceptação atual, para o período de análise do balanço hídrico (10/2008 a 09/2009), após tratamento dos dados em planilha eletrônica, seria necessário realizar uma ponderação das médias de interceptação pela área representativa de cada idade das plantas dentro da microbacia. No entanto, por considerar os intervalos de idade das plantas muito próximos (Tabela 5.2), e a diferença residir basicamente na altura dessas plantas, adotou-se os dados de interceptação monitorados atualmente, como sendo válidos a toda a microbacia, os considerando como componente mensal.

**Tabela 5.2 – Caracterização das espécies de eucalipto cultivados na microbacia florestada, data de plantio espaçamento e área.**

<b>Caracterização das Espécies na Microbacia Florestada</b>				
<b>Talhão</b>	<b>Espécie</b>	<b>Data do Plantio</b>	<b>Espaçamento</b>	<b>Área (ha)</b>
1	Urograndis	15/3/2007	3,5 m x 2,5 m	0,06
2	Grandis	15/4/2007	3,5 m x 2,0 m	0,01
3	Urograndis	15/10/2007	3,5 m x 2,5 m	12,30
4	Dunnii	15/11/2006	3,5 m x 2,0 m	4,19
5	Urograndis	15/10/2007	3,5 m x 2,5 m	32,27
6	Urograndis	15/10/2007	3,5 m x 2,5 m	0,02
<b>Total</b>				<b>48,84</b>

Fonte: Stora Enso Florestal RS, 2009.

Para se quantificar a componente interceptação da microbacia florestada foi necessário realizar uma ponderação das médias de interceptação pela área representativa de cada tipo de cobertura do solo dentro da microbacia.

Dessa forma, tem-se, conforme Equação 4.3:

$$I = ((Int_F \times A_F \%) + (Int_C \times A_C \%)) - (Et\% \times A_F)$$

(4.3)

O “*I*” é a interceptação mensal da microbacia, “*Int<sub>F</sub>*” é o valor monitorado da interceptação para o período mensal, o “*A<sub>F</sub>%*” é a percentagem de área

representativa da microbacia com eucaliptos, "*Int<sub>c</sub>*" é o valor de interceptação da literatura (7,5%) e "*A<sub>c</sub>%*" é a percentagem de área representativa de campo nativo na microbacia e por fim o "*Et%*" que representa o escoamento pelo tronco, normalmente somado a precipitação interna ou subtraído do valor da interceptação.

Em relação ao componente, "escoamento de água pelo tronco", após várias tentativas frustradas de instalação dos instrumentos, resolveu-se utilizar os valores apresentados na literatura (em média 6,5 % da precipitação total para espécies de tronco liso) como apresenta Lima (2008).

Para o cálculo do balanço hídrico da microbacia florestada, utilizar-se-á dos valores de interceptação da floresta (48,8 ha) somados aos valores da interceptação do campo, retirados da bibliografia (7,5%) de Collischonn e Tassi (2008) para o restante da área da microbacia (43,2 ha).

## **5.5 Estação hidrométrica e seus componentes**

### **5.5.1 A escolha do local**

Uma equipe de campo, com o mapa das duas propriedades pré-definidas (de campo e floresta de eucalipto), percorreu em Janeiro de 2008, no período extremo de uma seca de 2 meses, várias microbacias para procurar duas ideais e pareadas que mostrassem algumas características desejadas como: presença de vazão no instante da visita e presença de mata ciliar nas duas margens do curso de água, tanto por questão de segurança dos equipamentos, como para contemplar uma característica peculiar da região do pampa, que são as formações de mata nativa em galerias no entorno dos cursos de água.

Após escolhidos os locais, foi feita uma simulação de vazão (empírico) nas duas microbacias, para se avaliar qual a metodologia ideal de monitoramento a ser aplicada. Para a faixa de vazão considerada, optou-se por utilizar um vertedor triangular de 90° de parede delgada, pois segundo o CPRH (2004) é a ferramenta hidráulica mais precisa para vazões até 30 L/s já que se esperava que a grande maioria das vazões se concentrasse na faixa menor que este valor, exceto nos eventos de chuva.

### 5.5.2 Construção da estrutura hidráulica

As estruturas hidráulicas, tanto da MC quanto da MF, começaram a funcionar no dia 25 de Setembro de 2008. O vertedor triangular de 90° de parede delgada, foi construído conforme a Norma Técnica da CPRH N 2.004 para todas as especificações de altura de elevação da lâmina de água, distância do poço de medição etc. O vertedor foi confeccionado com uma chapa de aço galvanizado de 3 mm de espessura e fixado por inteiro (não havendo deformação) na parede de pedras e concreto erguida perpendicular ao curso de água conforme Figura 5.10.

A altura vertical do vertedor para as duas microbacias foi de 0,35 m, em função de alguns aspectos pertinentes optou-se por uniformizar a altura de validação dos dados. Os 35 cm faz com que se tornem válidas somente as vazões de até 102 L.s<sup>-1</sup>, conforme a Equação 4.4 da CPRH (2004) e PRONI (1990).

$$Q = (1,42 \times (H^{2,5})) \times 1000$$

(4.4)

O “**Q**” é a vazão em L.s<sup>-1</sup>, “**H**” é cota do sensor ou da régua em metros.

Além disso, para que o regime turbulento da água não interferisse na qualidade e validade dos dados dos sensores, foi construído um poço tranquilizador ou estabilizador de 60 cm de largura x 60 cm comprimento x 80 cm de altura, no qual se instalou o transdutor de pressão para medição automática das cotas ao longo do dia. Foi utilizada também uma régua metálica na parede do poço, zerada conforme o sensor e nivelada com o vertedor, para aferição com os dados eletrônicos do datalogger.

A cada coleta de dados do sensor ou verificação das estruturas (quinzenais) se fazia anotação do valor de cota na régua e também a hora e minutos, já quem em microbacias o escoamento muda em algumas horas e o tempo de concentração em eventos de chuva, pode durar apenas alguns minutos.



**Figura 5.10 – Estrutura hidráulica com poço tranqüilizador da microbacia de campo (A) e da microbacia florestada (B), sob as coordenadas 702968 E, 6643251 S e 704445 E, 6630250 S, respectivamente.**

O transdutor de pressão utilizado foi o Levelogger Junior da SOLINST® em cada um dos dois poços (Figura 5.11). Esse equipamento não pode ser considerado de baixo custo, porém, a facilidade de instalação exige pouca estrutura acessória, ou seja, ao final, toda a base acaba sendo de baixo custo em função da versatilidade do equipamento de coleta. A programação de obtenção dos dados foi de hora em hora para valores cheios (14:00, 15:00, etc) nas duas microbacias, para assim padronizar e facilitar a observação do comportamento hidrológico nas duas microbacias. A coleta, para fins da dissertação foi iniciada no dia 01 de Outubro de 2008 e encerrada dia 30 de Setembro de 2009, completando 365 dias de dados.



**Figura 5.11 – Transdutor de pressão (sensor de nível, datalogger e bateria) utilizado.**

Fonte: Adaptado de AG SOLVE (2009).

O Levelogger Junior funciona em conjunto com o barômetro intitulado Barologger Gold também da SOLINST®. Como os equipamentos são transdutores de pressão, o primeiro detecta a pressão da coluna de água conjuntamente com a pressão atmosférica (0,1% F.S de precisão). Já o segundo, tem a precisão para detectar somente a pressão atmosférica local. Subtraindo-se os dados dos dois equipamentos (um par em cada microbacia) tem-se a cota de água em centímetros acima do sensor que fica submerso.

Os dados foram registrados de hora em hora e todos os cálculos foram realizados de tal forma que não se utilizasse uma série com menos de 24 dados. Ou seja, os dados sempre foram utilizados no mínimo com sua série diária. Isso foi necessário em função de os sensores detectarem o evento citado por Vianello e Alves (1991), conhecido como Maré barométrica. Segundo o autor, a cada 24 horas ocorrem duas ondas na marcha da pressão atmosférica, com picos às 10 e às 22 horas e cuja origem não é suficientemente conhecida.

## **5.6 Avaliação do regime hidrológico com o uso de curvas de permanência**

A avaliação do regime hidrológico em cada bacia com a finalidade de identificar diferenças devido aos diferentes usos do solo, pode ser realizada com o uso das curvas de permanência.

A curva de permanência reflete uma síntese do regime hidrológico e caracteriza as disponibilidades hídricas de cada bacia. De acordo com o objetivo dessa pesquisa, a avaliação das alterações do regime hidrológico em função do uso do solo foi realizada a partir da comparação das curvas de permanências de cada bacia, como mostra as Tabela 5.3 e Tabela 5.4.

Uma das técnicas para caracterizar as diferenças de produção hídrica em cada sub-bacia, é o cálculo dos volumes escoados e medidos nas estações hidrométricas. Como as bacias têm áreas diferentes, optou-se em realizar a análise em função de valores específicos, ou seja, vazão, volume, sempre expressos por unidade de área.

**Tabela 5.3 - Demonstrativo das variáveis analisadas de 40% a 100% da curva de permanência.**

Mês	Mic. Florestada	Mic. Campo	Precipitação		Deflúvio		Interceptação		Incertezas	
	40% a 100%	40% a 100%	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC
	L/ha.mês	L/ha.mês			mm				%	
Out										
Nov										
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ago										
Set										
Anual										

Na Tabela 5.3, na amplitude utilizada para estudos de disponibilidade hídrica (40 a 100%) as vazões foram especificadas no montante mensal em Litros por hectare em cada mês, tanto para o campo como para a floresta, além da permanência anual para o mesmo período da curva. Além disso, comparou-se a diferença percentual entre esses volumes, sendo assim, os valores positivos são representativos do campo e os negativos representam o quanto percentualmente tem de água a mais, na microbacia florestada.

Na mesma tabela, representou-se o deflúvio gerado em relação à curva de permanência em questão e também as incertezas, que são aqueles valores que extrapolaram o vertedor; para a permanência de 40 a 100% dos dados não houve dados pertinentes a incertezas. Foram representadas ainda, a interceptação e a precipitação como componentes elucidativas para essa curva.

Para a Tabela 5.4, postou-se os resultados referentes ao período integral da curva de permanência, comparando as vazões mês a mês e também o somatório anual. Além disso, registrou-se o deflúvio resultante para cada período, a precipitação, interceptação e especificamente as incertezas mês a mês.

**Tabela 5.4 – Demonstrativo das variáveis analisadas em 100% do tempo na curva de permanência.**

Mês	Mic. Florestada	Mic. Campo	Diferença %	Precipitação		Deflúvio		Interceptação		Incertezas (%)	
	100%	100%	$\frac{(mc/mf)-1}{*100}$	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC
	L/ha.mês	L/ha.mês	%	mm				%			
Out											
Nov											
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ago											
Set											
Anual											

### 5.6.1 Construção da curva de permanência

A técnica mais freqüente de obtenção da curva de permanência é empírica e também amplamente descrita nos livros de hidrologia (VOGUEL E FENNESSEY, 1994; REMENIERAS, 1971; PINTO, 1973; VILLELA E MATTOS, 1975; LANNA, 1993 e 2000).

Uma técnica consiste em estabelecer intervalos (ou classes) ordenados de vazões, de acordo com a magnitude das vazões, procurando assim, ter uma quantidade razoável de valores ou “ogivas” em cada intervalo, bem como associar uma frequência de ocorrência das vazões e acumulá-las. Como se trata de associar frequências de ocorrências às vazões, outra alternativa é ordenar todos os valores de vazão de forma decrescente e associar a cada valor uma frequência de excedência, utilizando uma posição de plotagem empírica, tal como  $m/n$  ou  $m/n+1$ , sendo  $m$  a ordem do valor ordenado e  $n$  o número de valores da série. (JACOBS e VOGUEL, 1998 apud CRUZ e TUCCI, 1998).

A vazão (percentil)  $Q_p\%$  é frequentemente chamada de *função empírica* conforme Vogel e Fennessey (1994). Além disso, ela pode ser estimada a partir de uma função empírica de percentis (probabilidades acumuladas), partindo-se da escolha de uma posição de plotagem. Uma das mais utilizadas é a equação de Weibull, como citam Fennessey e Vogel (1990) e Jacobs e Vogel (1998).

Ao se considerar  $i$  o número de ordem do  $i^{\text{ésimo}}$  valor ordenado de vazão  $q(i)$ ,  $n$  o número de dados ordenados e  $Fq$  é a função densidade cumulativa de

probabilidade das vazões, tem-se que a probabilidade de excedência  $P_i$  de  $q(i)$  é dada conforme Equação 4.5.

$$p_i = 1 - F_q[q(i)] \quad (4.5)$$

Além disso, a posição de plotagem de *Weibull* correspondente é dada conforme Equação 4.6.

$$P_i = \frac{i}{n+1} \quad (4.6)$$

Buscou-se, dessa forma, a confecção de 24 curvas de permanência para comparações sazonais (12 para cada microbacia) com registros mensais e 2 (duas) com período histórico anual. Cada gráfico contém a permanência da microbacia de campo e da microbacia florestada.

As microbacias a serem confrontadas, possuem áreas distintas, dificultando a comparação dos resultados, já que a produção de escoamento é função da área de captação das chuvas. Nesse sentido, para que se pudesse equiparar o deflúvio das microbacias, a opção adotada foi a utilização das vazões específicas, obtidas com a divisão das vazões pela área da microbacia. Ademais, em função da baixa magnitude dos valores optou-se por utilizar a unidade de vazão em  $L.s^{-1}$  (litros por segundo), que após a divisão pela respectiva área resultou de forma específica, em  $L.s^{-1}.ha^{-1}$ .

As curvas de permanência foram confeccionadas para os todos os registros de vazão (0-100%), excetuando-se aqueles que ultrapassaram a capacidade da estrutura hidráulica e que foram considerados como valor máximo de vazão alcançado pelo vertedor aos 35 cm de cota.

### 5.6.2 Cálculo dos volumes da curva

A curva de permanência indica quando uma vazão pode ser igualada ou superada no tempo, logo, seus eixos são vazão (Y) e percentagem (X). A área dessa curva, portanto, indica o volume total de água no período de interesse. Os cálculos do volume foram realizados com dados de vazão de hora em hora.

A estrutura hidráulica possui a capacidade de determinar vazões com até 0,35 m de cota. Logo, em alguns eventos, houve o extravasamento da seção de interesse (0,2% dos dados na MC e 1,7 % dos dados da MF). Nesses casos, considerou-se o valor máximo de vazão do vertedor triangular para o cálculo de vazão das curvas, nas quais houvesse a necessidade. Para alguns estudos, esses valores não captados pela estrutura hidráulica são relevantes, porém, em função do objetivo desta pesquisa ser o impacto do uso do solo sobre a disponibilidade hídrica, esses dados não são bons indicadores.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Pluviometria

Inicialmente, a pesquisa desenvolveu-se no intuito de utilizar os dados de precipitação disponibilizados pela estação da Agência Nacional das Águas – ANA, instalada no Rio Santa Maria em Rosário do Sul e da estação agrometeorológica da Stora Enso Florestal RS, localizada na Estância Tarumã também no município de Rosário do Sul. As duas estações cobririam então, as duas microbacias da pesquisa.

Transcorridos alguns meses, verificou-se que tanto os dados da estação da ANA quanto os da Stora Enso estavam apresentando resultados muito distantes daqueles previstos para o local. Dessa forma, foram instalados dois pluviômetros “*Ville de Paris*” para confrontamento dos dados das duas estações. Logo, confirmou-se um problema de hardware na estação agrometeorológica da Stora Enso, o qual corrompeu os dados irreversivelmente; já na estação ANA, o problema é existente, com períodos sem registros, logo sem consistência necessária dos dados que são transmitidos por telemetria de hora em hora desde 2005.

As chuvas, no período de outubro de 2008 a setembro de 2009 ficaram distribuídas de acordo com a Tabela 6.1:

**Tabela 6.1 – Valores médios de precipitação pluviométrica na microbacia de campo e florestada no período de Out/08 a Set/09, nas fazendas São Carlos e Santa Ambrosina, respectivamente.**

Pluviosidade / Outubro 2008 a Setembro 2009			
Mês	mm de chuva (pluv. PVC)	Campo (mm)	Floresta (mm)
1 Outubro	374	X	X
2 Novembro	93	X	X
3 Dezembro	7	X	X
4 Janeiro	97,5	X	X
5 Fevereiro	X	211,3	193,5
6 Março	X	81,6	43,6
7 Abril	X	32,2	38,1
8 Maio	X	112,8	102,1
9 Junho	X	24	25
10 Julho	X	35	28,1
11 Agosto	X	100	85,9
12 Setembro	X	265,7	209,8
TOTAL		1434,1	1297,6

Para obtenção dos dados de chuva, nos 4 primeiros meses do período estudado, optou-se por utilizar os registros feitos por um técnico agrícola, colaborador da fazenda Santa Ambrosina, que sempre designou um técnico para esta função, resultando em uma série de registros diários de chuva desde 1950. Mesmo com os dados obtidos de pluviômetros de PVC, ainda assim, a periodicidade e sistematização dos registros permitiram a comparação entre o método anteriormente utilizado e o atual, resultando variação em cerca de  $\pm 3$  mm.

A partir do mês de fevereiro, os dados pluviométricos passaram a ser coletados em pluviômetros do tipo “*ville de paris*” por observadores treinados para tal finalidade. Os pluviômetros foram otimizados em locais mais próximos possíveis da microbacia, com disponibilidade de observador, com raio de abertura espacial adequada à literatura, denominados de pluviômetro do campo e pluviômetro da floresta.

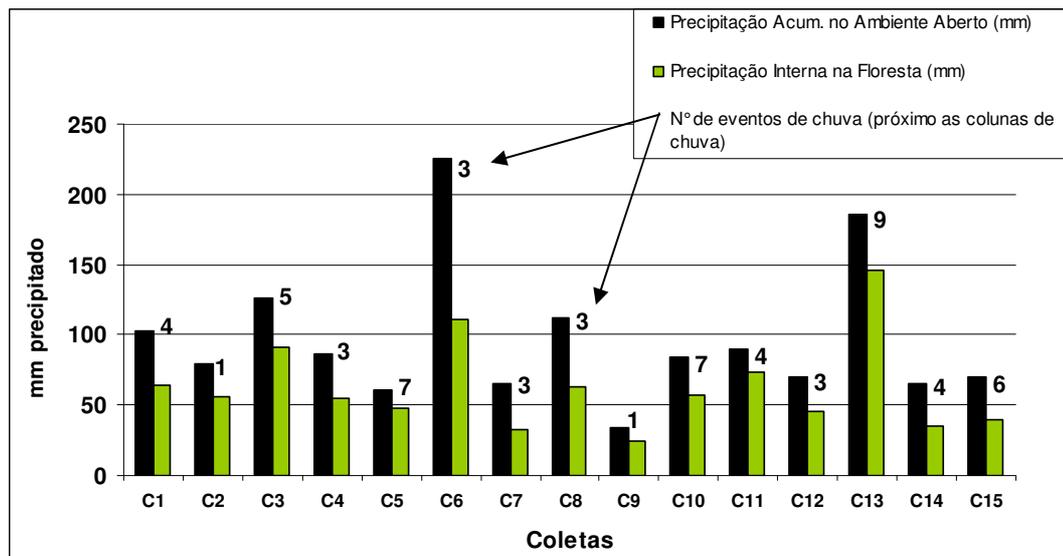
## 6.2 Intercepção

### 6.2.1 Avaliação piloto do estudo de intercepção

A resultante do somatório das chuvas acumuladas durante o período de cada coleta nos interceptômetros instalados na floresta (15 coletas no total) obteve-se uma relação de PPI (precipitação interna ou *throughfall*) com a chuva precipitada no aberto. A PPI não segue uma relação linear com a precipitação no aberto pelo fato de ser influenciada por outros fatores tais como a evapotranspiração potencial (ETP) no momento da precipitação, o que afetou a velocidade de evaporação da água que se acumula nas folhas e a intensidade da chuva, que influencia diretamente no grau e eficiência da distribuição das gotas de água sobre a lâmina foliar. Portanto, cada chuva reflete de forma diferente na resultante da PPI.

Outro fator de influência, diz respeito à temperatura que está subentendida na ETP, além disso, o grau de coloração da folha somada a incidência de energia solar minutos antes da chuva, podem representar valores de intercepção diferenciados quando comparados a outra chuva semelhante quantitativamente e de mesma intensidade, porém em época diferente do ano.

Como neste estudo, as coletas foram realizadas com uma frequência aproximada de 15 dias, a coleta da PPI (throughfall) corresponde ao volume acumulado de vários eventos de chuva que possam ter ocorrido no período. Assim, como a análise foi feita com a chuva acumulada no respectivo período, a relação chuva x PPI apresenta disparidades, pois o número de eventos pluviométricos em cada período “Cn” é diferente como mostra a Figura 6.1 correlacionada a Tabela 6.2.



**Figura 6.1 – Valores de precipitação pluviométrica acumulada em pluviômetros no aberto e a precipitação interna ocorrida no mesmo período.**

Na Tabela 6.2 é possível observar os períodos de coleta e o número de eventos detectados bem como a quantidade de chuva precipitada no aberto em mm. A correlação da precipitação interna na floresta de eucalipto com a chuva no aberto provavelmente seja bastante desuniforme em função das características climáticas na área do estudo, com verões quentes e secos e invernos frios e chuvosos.

**Tabela 6.2 – Períodos de coleta, número de eventos e precipitação pluviométrica precipitada.**

<b>Coleta</b>	<b>Período da Coleta</b>	<b>Nº Eventos</b>	<b>Chuva no Aberto (mm)</b>
C1	22-04 até 08-05	4	103
C2	08-05 até 28-05	1	80
C3	28-05 até 11-06	5	126
C4	11-06 até 27-06	3	86
C5	11-06 até 10-07	7	61
C6	24-09 até 15-10	3	225
C7	15-10 até 24-10	3	65
C8	24-10 até 03-11	3	112
C9	03-11 até 12-11	1	34
C10	12-11 até 14-01	7	84
C11	14-01 até 31-01	4	90
C12	30-01 até 18-02	3	70
C13	18-02 até 06-03	9	186
C14	06-03 até 17-04	4	65
C15	17-04 até 21-05	6	69.8

Levando-se em consideração as amplitudes térmicas dessa região do Brasil, aliados a todos os fatores já citados em relação às alterações da precipitação interna, pode-se prever a dificuldade de montar uma estrutura de instrumentos que contemple toda a variação climática, sazonal, morfológica e que forneça dados estatisticamente confiáveis em relação ao objeto principal desse tipo de intervenção, que é a quantificação da interceptação.

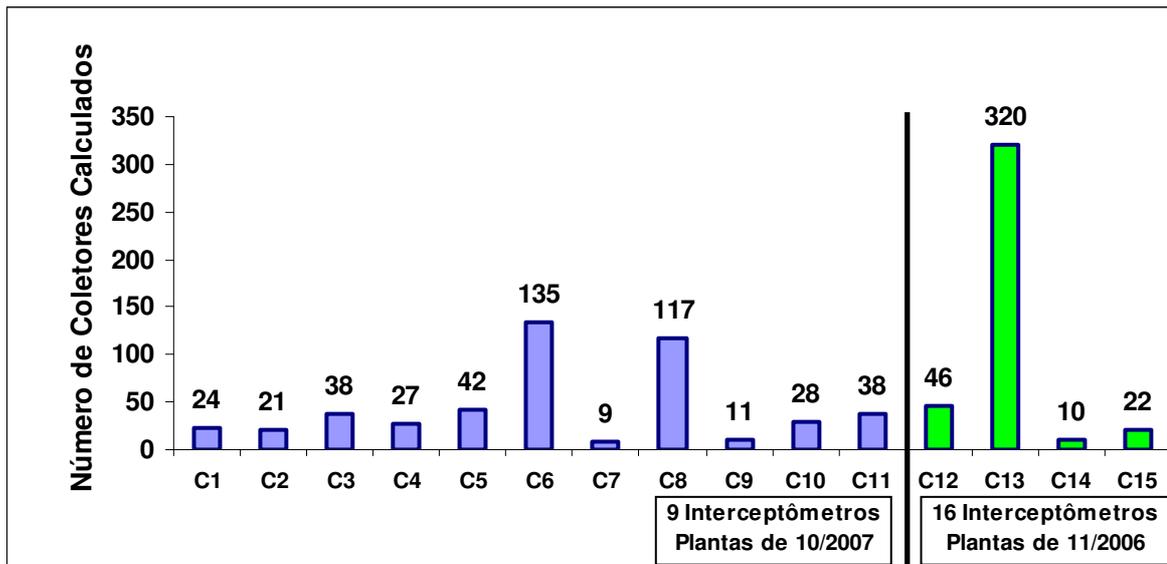
A partir dos dados das coletas até então realizadas, calculou-se a dispersão entre os interceptômetros e estimou-se o tamanho da amostragem de interceptômetros necessários para reduzir o desvio-padrão das amostras. Os valores obtidos podem ser vistos na Figura 6.2.

Até a coleta 11, esse cálculo foi feito com base nos dados da amostra de tamanho 9 interceptômetros, enquanto que as últimas basearam-se na amostra de tamanho 16 instrumentos.

Dos resultados obtidos observa-se que apenas na coleta C7 e C14, os valores coletados permitiram uma estimativa de tamanho de amostra compatível com o número de pluviômetros realmente instalados (9 e 16 respectivamente). Ou seja, o número de coletores nesses eventos relativos a essas coletas foi suficiente para explicar o grau de variação de PPI nesse povoamento florestal.

Nas demais coletas, houve a exigência estatística de mais instrumentos de interceptação para abranger um intervalo de confiança de 90% e um erro de 5 mm

em relação à média. A C13, com 9 eventos de chuva e um valor acumulado elevado, foi a que apresentou a maior disparidade entre os valores coletados nos interceptômetros e, portanto, mostrou a necessidade de um maior número de coletores. Para a C13 foram 9 eventos de precipitação registrados e 186 mm de chuva acumulada no período.



**Figura 6.2 - Número de coletores necessários em função da amplitude da precipitação interna.**

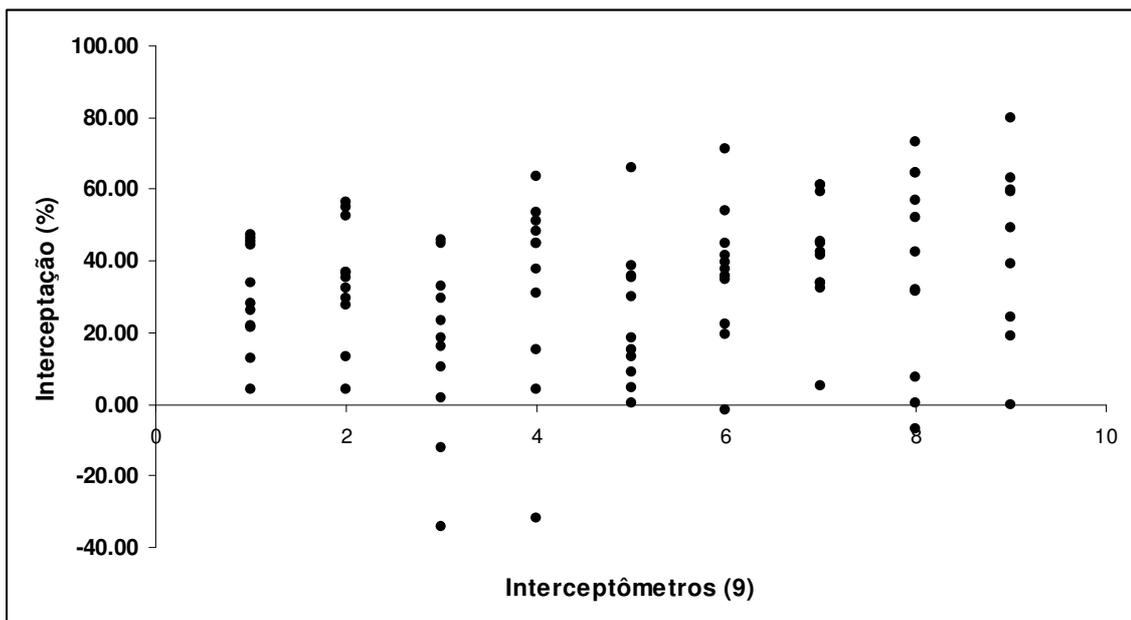
Na C5, o número de eventos de precipitação é bastante alto (7 eventos) porém, a baixa quantidade de chuva acumulada pode ter sido a causa da pouca quantidade de pluviômetros necessários calculados. Outra hipótese levantada é a de que com um evento pluviométrico de longa duração e de grande intensidade pode haver a formação de linhas preferenciais de escoamento da água pelos ramos longos e inclinados do eucalipto e dessa forma alguns interceptômetros possam ter captado essa variação, aumentando o desvio padrão das amostras, como por exemplo, nas coletas C6 e C8 com ocorrência de 3 eventos pluviométricos que acumularam 225 mm e 112 mm respectivamente e que apresentaram a necessidade do segundo e terceiro maior número de coletores respectivamente.

Em algumas situações, os interceptômetros coletaram a mesma quantidade de água precipitada no aberto ou mesmo valores maiores que a chuva no aberto,

como por exemplo, na coleta C13, um dos instrumentos coletou 32 % de água a mais do que o precipitado no aberto, indicando dessa forma a presença de linhas de escoamento convergentes na planta.

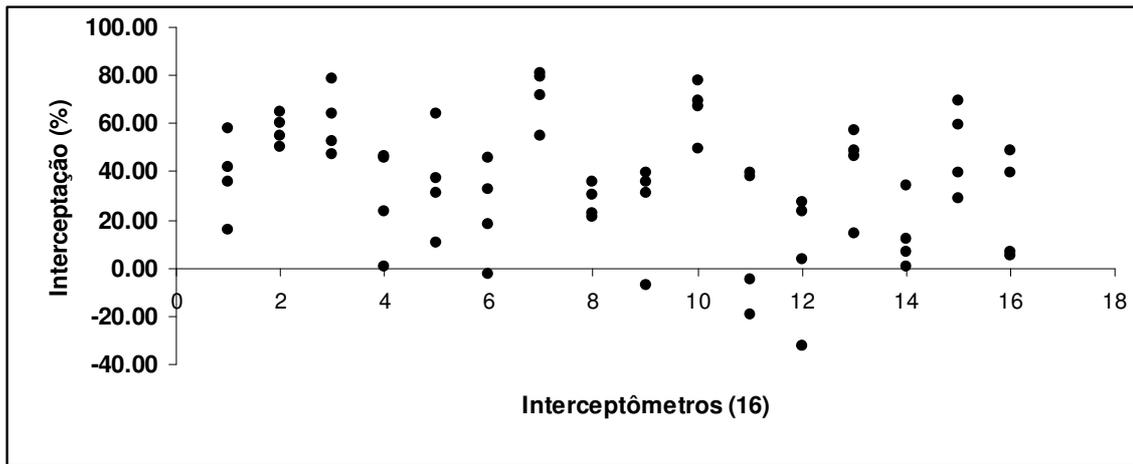
No período de estudo, foram detectados 11 instrumentos diferentes com precipitação interna acima de 95% e mais 11 instrumentos (6 registros no período de 9 instrumentos e 5 registros no período com 16 instrumentos) diferentes com interceptação negativa, ou seja, estes coletaram mais água proporcionalmente do que precipitou no aberto.

Na Figura 6.3, é possível observar que para o período de 9 interceptômetros, foram 6 registros negativos de interceptação para 11 coletas diferentes em cada um dos instrumentos representados no eixo das abscissas, indicando linhas preferências de escoamento pelos ramos e folhas dos eucaliptos.



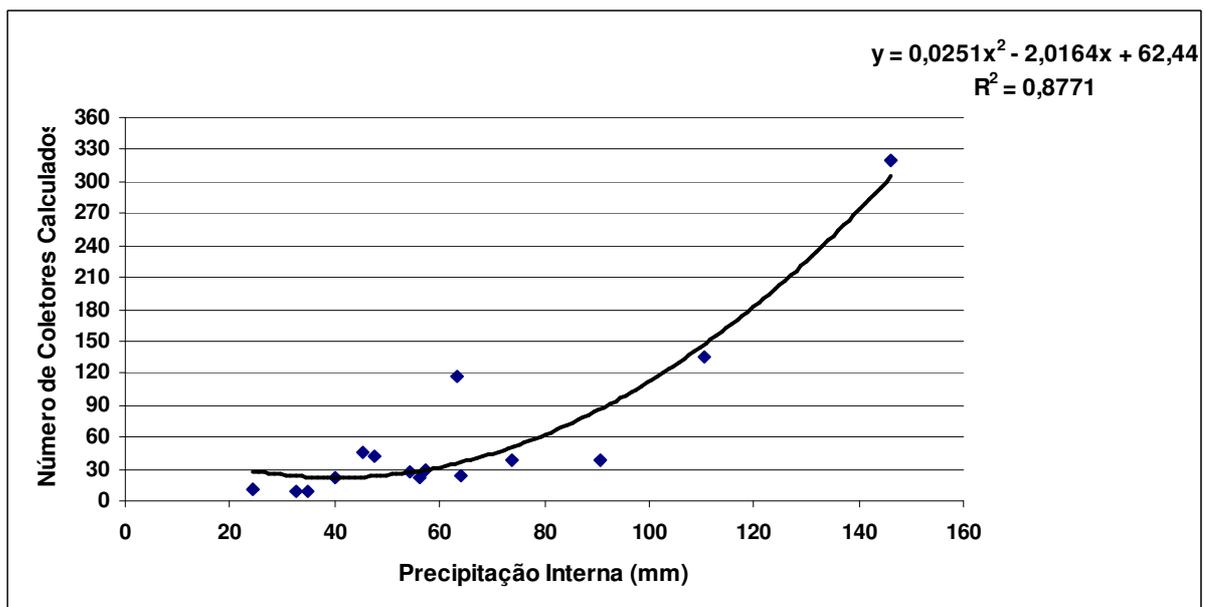
**Figura 6.3 – Período com 9 interceptômetros e 6 registros negativos de interceptação.**

Na Figura 6.4, da mesma forma, nota-se que para o período com 16 interceptômetros, foram 5 registros negativos de interceptação para 4 coletas diferentes em cada um dos instrumentos representados no eixo das abscissas.



**Figura 6.4 – Período com 16 interceptômetros e 5 registros negativos de interceptação.**

Ao se relacionar a média da precipitação interna em todo o período com o número de coletores calculados para o mesmo período, chegou-se a uma correlação considerada forte e um coeficiente de determinação alto ( $r^2 = 0,88$ ) como mostra a Figura 6.5. O modelo consegue explicar 88% da variância do número de coletores em função da PPI.



**Figura 6.5 – Curva de regressão do número de coletores calculados em função da precipitação interna média.**

Os modelos de regressão utilizados são de natureza quadrática em função da precipitação no aberto não ter uma correspondência linear na interceptação, ou seja, nos primeiros instantes de chuva, não há PPI na floresta e esse tempo para início da PPI está em função de vários fatores já mencionados como temperatura, ETP, cor das folhas, vento e principalmente intensidade da chuva, que no decorrer do tempo pode iniciar linhas de convergência de escoamento, fazendo com que a PPI não seja uniforme sob o dossel da floresta. No caso de comparação de precipitação interna entre espécies diferentes o fator índice de área foliar deve ser levado em consideração.

A média dos valores de chuva interceptados pelas copas das árvores em cada período (C1...C15) podem ser conferidos na Tabela 6.3.

**Tabela 6.3 – Valores médios de interceptação por coleta acumulada para o período de 04/08 a 05/09.**

Perctagem média da interceptação em relação a chuva no aberto														
9 Interceptadores (%)											16 interceptadores (%)			
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
37.70	29.71	28.05	36.79	22.22	44.67	43.33	43.57	27.96	31.82	18.12	35.25	21.41	46.19	42.73
Interceptação média (%)											Interceptação média (%)			
33.09											36.39			

Os valores de interceptação observados para o período em que foram analisados os 9 coletores, resultou em uma média de 33,09 %. Importante salientar-se a disparidade ocorrida na média de algumas coletas como a C5, por exemplo, na qual o valor médio de interceptação para os 9 coletores neste período foi de 22,22 % e a C6, coletada aproximadamente 20 dias após a C5, registrou 46,67 % sendo mais que o dobro de chuva interceptada. Para a C5, o número de coletores calculados apresentados na Figura 6.2, foi de 42 e 135 para a C6, não demonstrando, portanto relação direta entre interceptação e número de coletores.

Outro dado interessante diz respeito as duas coletas, C2 e C14, que registraram interceptação de 29,71% e 46,19% respectivamente e número de coletores 21 e 10 respectivamente, ratificando dessa forma a tese de que muitos são os fatores a serem contemplados no momento de se espacializar instrumentos interceptadores para que os valores se mantenham dentro de um erro aceitável

mesmo com as variações naturais da média. Para as coletas com 16 interceptadores, a média de interceptação entre eles foi de 36,39 %.

Na maior parte do tempo de análise os instrumentos ficaram postados na área plantada em Outubro de 2007. Após foram deslocados para a área de Novembro de 2006. Porém, devido ao fato da diferença entre os talhões mais velhos e os mais novos, serem de apenas 1 (um) ano de idade e pelas copas dos eucaliptos de todas as idades presentes já terem se tocado, o que os diferenciou no período de avaliação (10/2008 a 09/2009) foi apenas a altura das plantas, o que foi considerado como de pouca influência para uma generalização da interceptação da área, independente da idade.

Logo, para efeitos do cálculo de interceptação mensal no período na análise do balanço hídrico da microbacia, considerou-se os valores da área na qual está instalada a base de interceptômetros, como sendo válidos para toda área da microbacia, por ser o único local monitorado momentaneamente.

#### 6.2.2 Estimativa da interceptação mensal de 10/2008 a 09/2009 da MF.

Além do estudo piloto de avaliação dos instrumentos utilizados para monitorar a precipitação interna objetivando a interceptação, foi possível, mesmo com o número inadequado de instrumentos, monitorar a interceptação dos eucaliptos no período de 12 meses do estudo das microbacias.

Ademais, para o balanço hídrico da microbacia, se faz necessário a quantificação da área coberta com a espécie alvo do estudo, ou seja, dos 92 ha de área total, 48.84 ha (52% do total) está coberta por eucalipto logo, 43,2 ha compõem a pastagem natural do Pampa, representando as Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, com interceptação média de 7,5% conforme Collischonn e Tassi (2008).

Com isso, um somatório proporcional básico conforme Equação 4.3, quantifica o valor para a microbacia florestada (MF). Na Tabela 6.4, as variáveis " $Int \times A$ " referem-se a interceptação da cobertura vegetal em questão, multiplicada pela área da microbacia. Além disso, a  $E_t$ , refere-se a entrada de água via escoamento pelo tronco, que na tabela, é multiplicado pela área da microbacia florestada, conforme especificado na Equação 4.3.

**Tabela 6.4 – Valores de interceptação estimados pela metodologia dos interceptômetros-piloto.**

Mês	Chuva Incidente	Interc. Campo	Interc. Eucal.	Intercep. no campo	Intercep. na floresta	ET% x A <sub>F</sub>	Interc. Total	% da Chuva Interc.	Impacto da Silvicultura (Interc. Total - Interc. Campo)
				Int <sub>C</sub> x A <sub>C</sub>	Int <sub>F</sub> x A <sub>F</sub>				
				mm					mm
Out	374	28,05	163,06	13,46	84,79	12,64	85,62	22,89	57,57
Nov	93	6,98	29,23	3,35	15,20	3,14	15,41	16,57	8,43
Dez	7	0,53	2,23	0,25	1,16	0,24	1,17	16,75	0,65
Jan	95,7	7,18	18,92	3,45	9,84	3,23	10,05	10,50	2,87
Fev	193,5	14,51	29,03	6,97	15,10	6,54	15,52	8,02	1,01
Mar	43,6	3,27	3,08	1,57	1,60	1,47	1,70	3,89	-1,57
Abr	38,1	2,86	8,87	1,37	4,61	1,29	4,69	12,32	1,84
Mai	102,1	7,66	34,05	3,68	17,71	3,45	17,93	17,56	10,27
Jun	25	1,88	7,04	0,90	3,66	0,85	3,71	14,86	1,84
Jul	28,1	2,11	7,66	1,01	3,98	0,95	4,04	14,39	1,94
Ago	85,9	6,44	18,55	3,09	9,64	2,90	9,83	11,45	3,39
Set	209,8	15,74	37,56	7,55	19,53	7,09	19,99	9,53	4,26
	1297,6	97,32	359,26	46,65	186,82	43,80	189,67	14,62	92,35

Na última coluna da Tabela 6.4, os 92,35 mm representam a diminuição da precipitação efetiva, ou seja, o impacto da silvicultura na microbacia florestada pela interceptação diferenciada em relação ao campo.

Por meio da análise dos resultados, infere-se que a interceptação média para a microbacia florestada, nos moldes de cultivo empregados na área, foi avaliada em cerca de 14,6 %, perfazendo praticamente o dobro da interceptação estimada para a vegetação campestre, citada por Collischonn e Tassi (2008).

### 6.3 Avaliação do deflúvio mensal por meio da curva de permanência

Optou-se por dividir o entendimento dos gráficos da curva de permanência em alguns elementos ditos essenciais ao bom entendimento da tradução de gráficos em números. Dentre eles, cita-se a comparação das médias de vazão para cada período estudado, a quantidade de chuva registrada e a média histórica, número de

eventos e distribuição no tempo, a interceptação e finalmente a produção de água na microbacia apresentada em mm para fins comparativos.

Ademais, a relação que explica a transformação de unidades de “L/ha” em “mm” da-se apenas pela divisão do volume observado (L/ha) pela área de 1 (um) hectare expressos em m<sup>2</sup> (ou seja, 10.000 m<sup>2</sup>), já que, 1 mm é o mesmo L/m<sup>2</sup>.

As curvas de permanência foram construídas para todos os meses e também para o período anual. Os volumes escoados em cada período, considerando a faixa de permanência de 40 a 100%, estão representados na Tabela 6.5

**Tabela 6.5 - Demonstrativo global das variáveis das microbacias para 40% a 100% do tempo de curva de permanência.**

Mês	Mic. Florestada	Mic. Campo	Precipitação		Deflúvio		Interceptação		Incertezas	
	40% a 100%	40% a 100%	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC
	L/ha.mês	L/ha.mês	mm				%			
Out	104.100,03	267.722,10	374,00		10,41	26,77	85,62	28,05	0,00	0,00
Nov	58.673,95	187.579,36	93,00		5,87	18,76	15,41	6,98	0,00	0,00
Dez	26.243,48	43.461,60	7,00		2,62	4,35	1,17	0,53	0,00	0,00
Jan	20.327,06	17.061,72	97,50		2,03	1,71	10,05	7,31	0,00	0,00
Fev	14.090,17	13.449,77	193,5	211,3	1,41	1,35	15,52	14,51	0,00	0,00
Mar	16.934,50	26.531,69	43,6	81,6	1,69	2,65	1,70	3,27	0,00	0,00
Abr	12.395,29	27.340,42	38,1	32,2	1,24	2,73	4,69	2,86	0,00	0,00
Mai	16.620,81	42.118,01	102,1	112,8	1,66	4,21	17,93	7,66	0,00	0,00
Jun	17.738,94	49.688,24	25	24	1,77	4,97	3,71	1,88	0,00	0,00
Jul	19.182,82	23.152,36	28,1	35	1,92	2,32	4,04	2,11	0,00	0,00
Ago	28.470,20	35.162,69	85,9	100	2,85	3,52	9,83	6,44	0,00	0,00
Set	96.469,48	236.524,67	209,8	265,7	9,65	23,65	19,99	15,74	0,00	0,00
Anual	249.595,62	442.055,56	1297,60	1434,10	2,50	44,21	189,67	97,32	0,00	0,00

### 6.3.1 Comparação das curvas mensais de 40% a 100% da Permanência para avaliação da disponibilidade hídrica.

As curvas de permanência comparativas mensais são apresentadas da Figura 6.6 até a Figura 6.17. Na seqüência são explicados os comportamentos das curvas mais destoantes na série dos 12 meses do estudo, relacionadas ao comportamento das chuvas que interferiram diretamente no resultado da permanência.

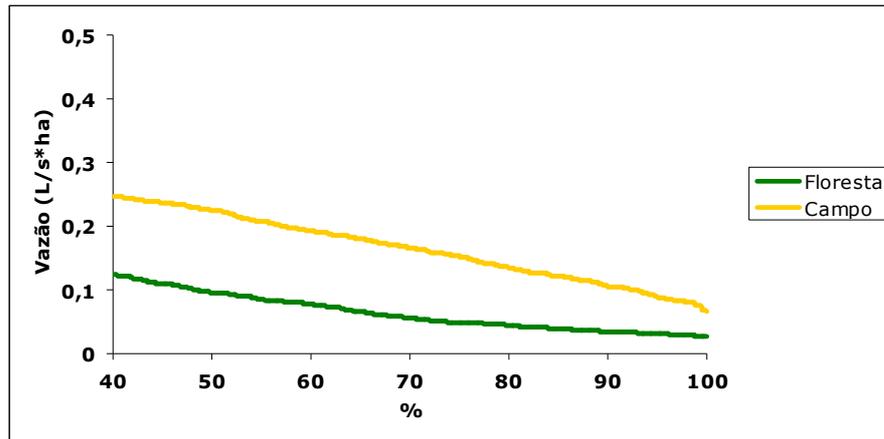


Figura 6.6 – Curva de permanência para o mês de Outubro de 2008.

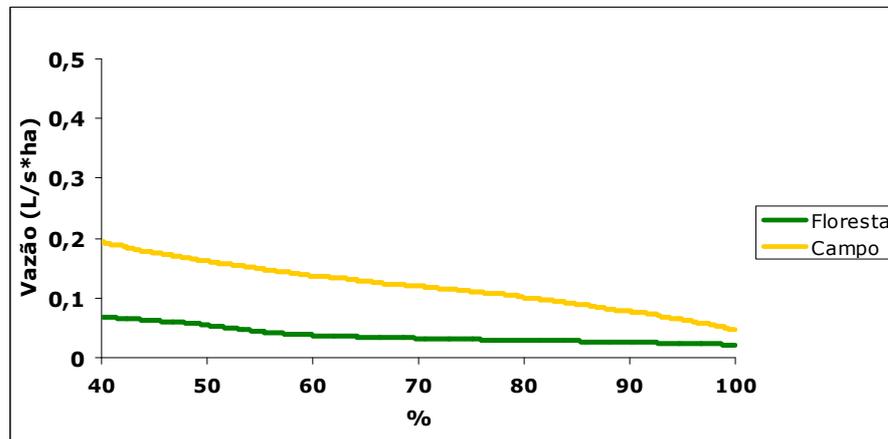


Figura 6.7 – Curva de permanência para o mês de Novembro de 2008.

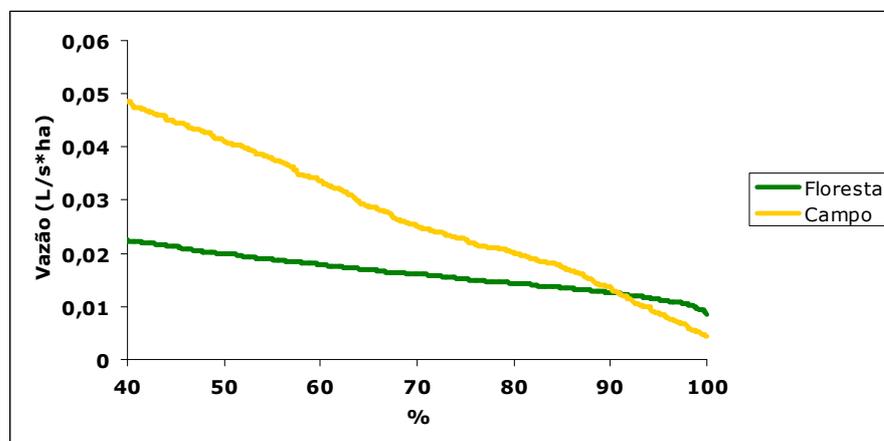


Figura 6.8 - Curva de permanência para o mês de Dezembro de 2008.

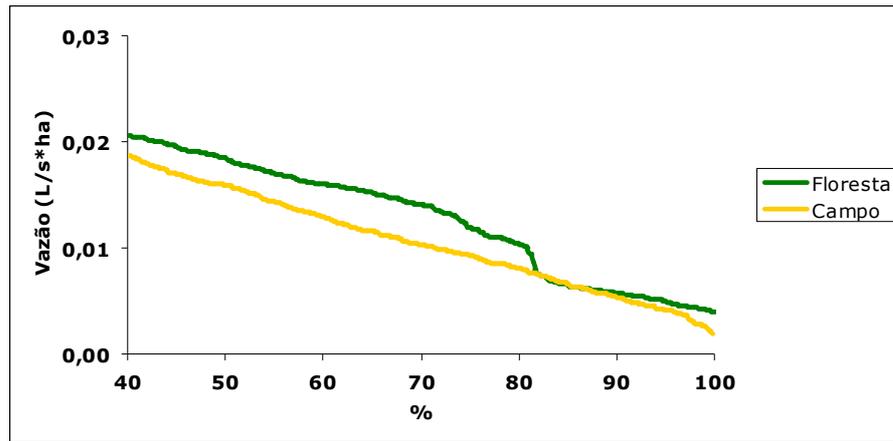


Figura 6.9 – Curva de permanência para o mês de Janeiro de 2009.

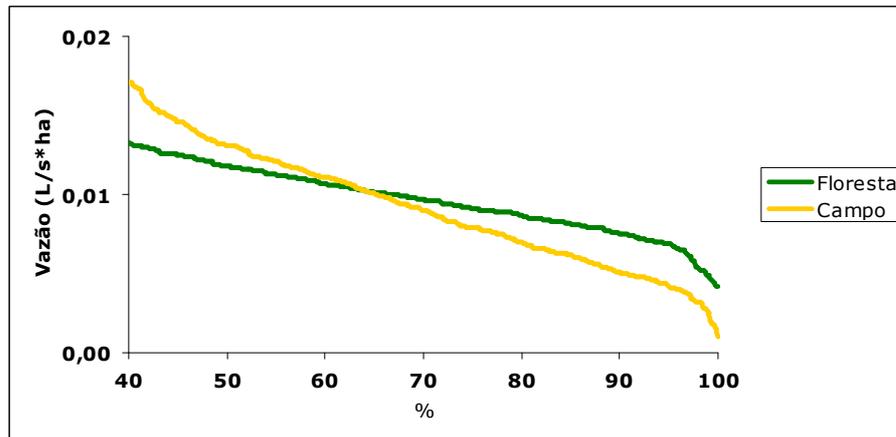


Figura 6.10 – Curva de permanência para o mês de Fevereiro de 2009

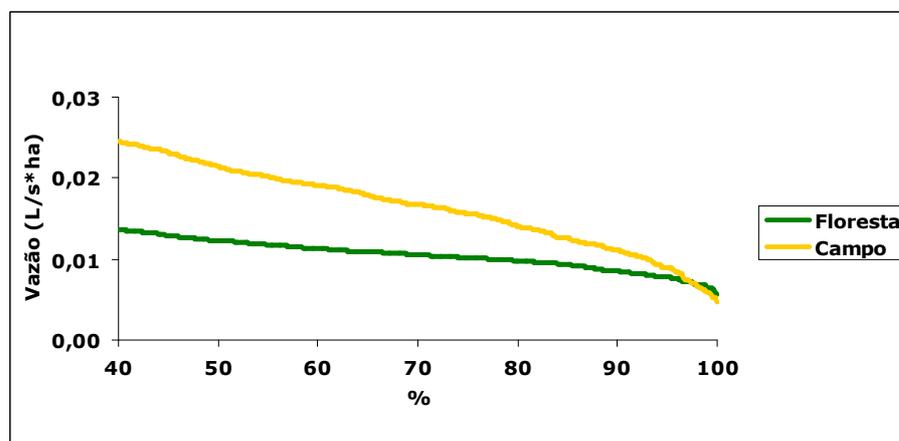


Figura 6.11 – Curva de permanência para o mês de Março de 2009

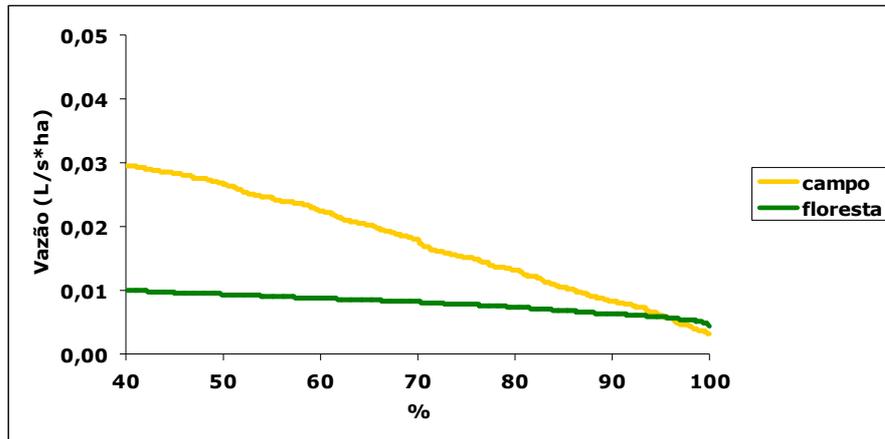


Figura 6.12 – Curva de permanência para o mês de Abril de 2009.

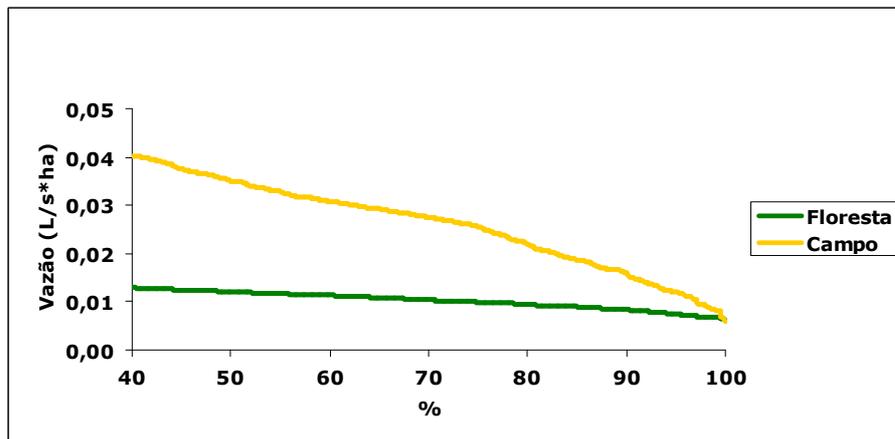


Figura 6.13 – Curva de permanência para o mês de Maio de 2009.

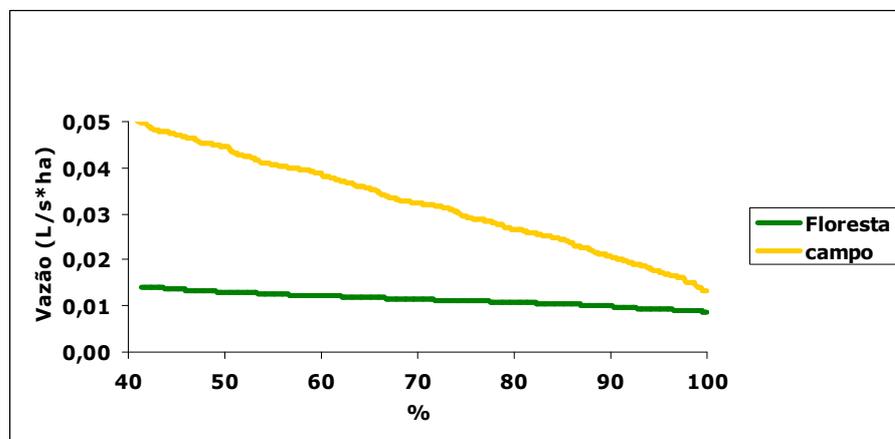


Figura 6.14 – Curva de permanência para o mês de Junho de 2009.

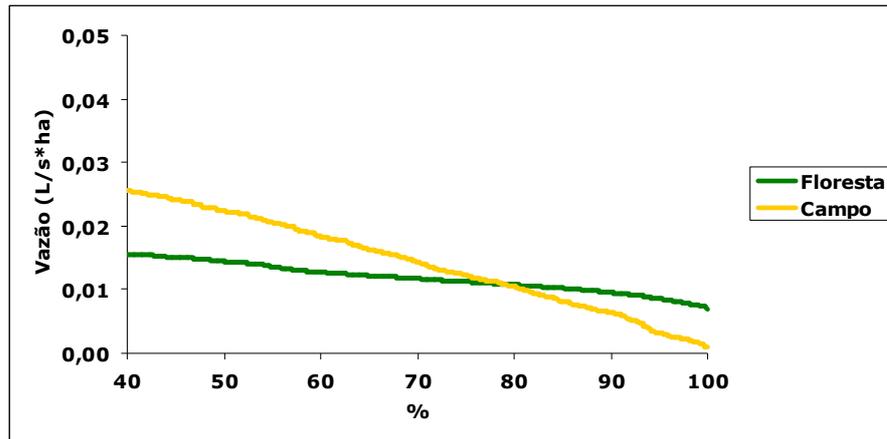


Figura 6.15 – Curva de permanência para o mês de Julho de 2009.

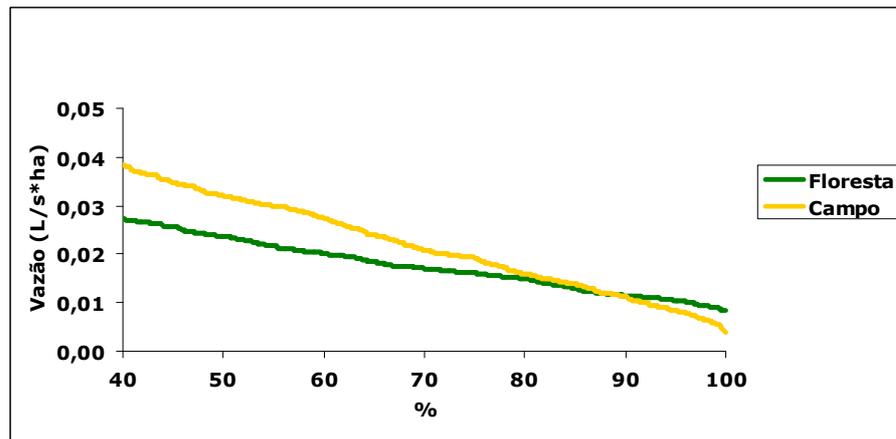


Figura 6.16 – Curva de permanência para o mês de Agosto de 2009.

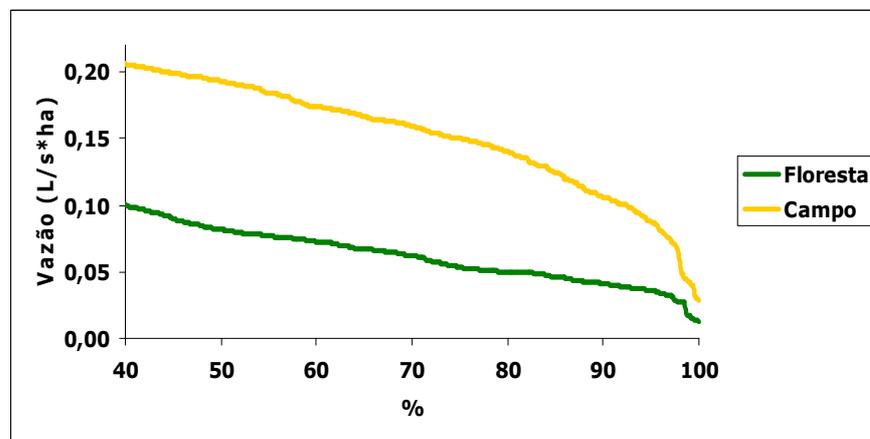


Figura 6.17 – Curva de permanência para o mês de Setembro de 2009.

Para todos os meses, com exceção de Janeiro e Fevereiro, as curvas de permanência observadas, dos 40% aos 100%, equivalente a 60 % do tempo, demonstraram que a disponibilidade de água na microbacia de campo foi maior que na microbacia florestada.

No mês de Dezembro, já é possível observar (Figura 6.8) uma diminuição abrupta das vazões de estiagem (aquelas mais próximas ao fim da curva de permanência), provavelmente resultado da baixa capacidade de infiltração da microbacia de campo, logo, interferiu na capacidade de regularização da vazão em períodos secos. Porém, no balanço global do período, ainda houve mais água passando pelo exutório da bacia de campo na proporção específica por área da microbacia. No período que se estende de Dezembro a Fevereiro, a microbacia florestada começa a apresentar maior capacidade de regularização em períodos secos.

No mês de Janeiro, começam a ser nítidos, os comportamentos diferenciados das microbacias. Houve uma inversão na disponibilidade de água pela curva de permanência a partir da  $Q_{40}$ . Em resposta a pouca chuva precipitada no mês de Dezembro, a microbacia florestada apresentou maior disponibilidade, proporcionalmente, comparada a microbacia de campo (Figura 6.9). Em Fevereiro a curva (Figura 6.10) seguiu a tendência semelhante a do mês anterior, com proporcionalmente mais água passando pela seção do vertedor da MF em relação a MC. A partir de Março até Setembro, as curvas de 40% de permanência, começam a apresentar vantagem quantitativa para o campo com o retorno das chuvas.

Para ter-se mais um parâmetro comparativo entre as duas microbacias, efetuou-se a média mensal de cada série de dados na curva de 40% a 100% do tempo na permanência. As médias mensais das vazões para as duas microbacias, podem ser observadas na Tabela 6.6.

**Tabela 6.6 – Médias das vazões de 40% de permanência para a microbacia de campo e microbacia florestada em  $L.s^{-1}.ha^{-1}$ .**

Mês	MC ( $L.s^{-1}.ha^{-1}$ )	MF ( $L.s^{-1}.ha^{-1}$ )
Out	0,17	0,06
Nov	0,12	0,04
Dez	0,027	0,016
Jan	0,011	0,013
Fev	0,009	0,01
Mar	0,016	0,01
Abr	0,017	0,008
Mai	0,026	0,01
Jun	0,032	0,011
Jul	0,014	0,012
Ago	0,022	0,018
Set	0,151	0,062

Naturalmente, na microbacia de campo, as médias foram maiores justamente naqueles meses, nos quais o volume de água produzido foi maior. Entretanto, é possível observar que os meses de Janeiro e Fevereiro (equivalente aos períodos de estiagem) apresentaram maiores médias para a microbacia florestada. É notável a grande variação das médias mensais para a MC durante os 12 meses, no entanto, percebe-se que no período de Dezembro a Julho, as médias da MF pouco se alteraram, denotando assim, maior capacidade de regularização do deflúvio para os 40 % de permanência, independentemente da quantidade de água precipitada.

Alguns dos fatores que determinam a diferença entre as curvas de permanência da microbacia de campo e da microbacia florestada, se referem à quantidade de chuva precipitada em cada um dos locais, e também da distribuição da chuva no período em análise, que foi mensal para esse estudo em específico. Basicamente, os meses que demonstraram resultados destoantes nas curvas de permanência, com influência direta da baixa precipitação pluviométrica, foram os meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro, Julho e Agosto.

No mês de Outubro, foi registrado 374 mm de chuva distribuídos em 7 dias do mês e bem distribuídos no período, caracterizando um mês muito chuvoso e bem acima da média histórica dos últimos 30 anos, cuja qual foi de 159,5 mm, ou seja, menos da metade da ocorrida no mesmo período em 2008. A chuva registrada para Novembro, foi de 93 mm, a qual ficou abaixo da média histórica de 133,3 mm. Além

disso, a precipitação concentrou-se em 5 dias dispersos, porém deixando um intervalo de 19 dias sem chuva.

Historicamente, a média de chuva para o mês de Dezembro na região, situa-se na faixa dos 109,4mm. Neste mês, foi registrado apenas 7 mm, atingindo 6,4% da média histórica e foi distribuída em apenas 2 dias no início do mês, permanecendo cerca de 20 dias sem chuva durante o período em análise. Dessa forma, pode-se inferir que diferenças de comportamento em relação à produção de água das duas microbacias, são resultantes do escoamento base, de origem subterrânea, por não haver precipitação pluviométrica suficiente para manter o fluxo superficial e subsuperficial.

A precipitação para o mês de Janeiro foi de 95.7 mm em todo o período, enquanto que a média histórica aponta para 112,6 mm. A precipitação foi registrada em 6 dias bem distribuídos ao longo do mês, quase que semanalmente. Este fato, chuva próxima da média, em um período longo de dias quentes, com evapotranspiração elevada, foi bastante interessante do ponto de vista científico, pois possibilitou interpretar e atribuir as diferenças de escoamento ao tipo de cobertura do solo. A interceptação, considerada como perda no balanço hídrico, da biomassa de eucaliptos presentes na microbacia florestada, foi da magnitude de 10,5% (9,84 mm).

Além disso, um dos fatores considerado como primordial para a inversão das curvas no mês de Janeiro, foi a baixa capacidade de infiltração na microbacia de campo utilizada para pecuária, pois por esta razão, houve um maior escoamento superficial direto e subsuperficial. Por outro lado, o preparo do solo feito em linhas paralelas a cada 3 metros e subsuperficialmente a 70 cm abrangendo toda a microbacia florestada, pode ter facilitado a infiltração da água para o lençol freático, procedendo à regularização da vazão do córrego ao longo do tempo.

As chuvas, a partir do mês de fevereiro, passaram a ser registradas em pluviômetros mais próximos de cada microbacia e não mais em um instrumento central entre as microbacias. Logo, para a MF, foi registrado 193,5 mm e para a MC foi 211,3 mm, valores bem acima dos 130,9 mm históricos. Houve uma diferença de 17.8 mm entre as duas microbacias, o que talvez fosse explicado pela natureza das chuvas que frequentemente ocorrem nessa época do ano, as chamadas chuvas convectivas. Foram 9 dias com precipitação registrada nas duas microbacias,

permanecendo sem chuva apenas os 10 dias iniciais do mês. A interceptação para o período foi de aproximadamente 8,2% (15,1 mm).

A pluviometria em Março, registrou valores de 81,6 mm para a MC e 43,6 mm para a MF. A média esperada para o mês de Março é de 122,1 mm. Foram notáveis os 38 mm de chuva a menos, precipitados na MF. O número de dias de eventos pluviométricos na MF foram no total de 5, distribuídos nos primeiros 15 dias do mês. Para a MC houve 7 dias com registro no pluviômetro. Aparentemente não há outra causa que possa explicar tal fato, nessa época do ano, a não ser as chuvas convectivas. A interceptação, que para este mês, foi da ordem de 3,89 % (1,6 mm).

As chuvas em Abril, mantiveram-se bem abaixo da média esperada para o período. Na MC foram registrados 32,2 mm e na MF 38,1 mm. A média dos últimos 30 anos para a região é de 187,7 mm, ou seja, nos dois locais da pesquisa, choveu menos de 25% do esperado. As chuvas na MC foram distribuídas em 2 dias de precipitação ao início e na metade do mês, ficando um período longo sem chuva entre os eventos. Para MF, da mesma forma, foi um mês seco, com 3 (três) dias de chuva no início do mês (dias 3 e 4) e após isso, só choveu no dia 19 nas duas microbacias. As curvas se inverteram na  $Q_{95}$  e as menores vazões registradas, naturalmente, corresponderam às últimas horas do dia 18 antes da chuva do dia 19.

Em Maio, em relação ao volume de chuva precipitado, os eventos registrados na MC somaram um total de 112,8 mm, enquanto que na MF somaram 102,1 mm. A média histórica para a região é de 133 mm, logo, os valores se mostraram um pouco abaixo dessa média, porém, reergueram os valores de vazão observados, que vinham muito baixos com as perdas até então registradas por precipitações bem abaixo da média esperada. A chuva, na MF e na MC, ficou distribuída em 5 dias distintos no mês. Apesar de abaixo da média, as chuvas se mostraram bem distribuídas no período.

Em Junho, a precipitação pluviométrica registrada para as duas microbacias foi praticamente a mesma, sendo 24 mm para a microbacia de campo e 25 mm para a microbacia florestada. A média histórica para o período foi de 137 mm, estando as duas microbacias, portanto, com registro 5,5 vezes menor que o esperado. A precipitação distribuiu-se em 2 dias na MF e em 4 dias na MC nos últimos 10 dias do mês, portanto, bem concentradas, constituindo um período de 20 dias de estiagem captados pela curva de permanência. A interceptação foi 14,86% ou 3,66 mm, aproximadamente.

A chuva prevista para a região no mês de Julho, está na faixa dos 127,5 mm. No entanto, registrou-se apenas 35 mm para a microbacia de campo e 28,1 mm para a microbacia florestada. O número de dias com registro foi de 3 para a MC e de 4 para a MF, concentradas na metade do mês. Mesmo com a quantidade de chuva precipitada bem abaixo da média histórica nos últimos dois meses e precipitando menos na microbacia florestada, houve um acréscimo no deflúvio da MF em relação ao mês anterior. Entretanto, na MC, houve uma redução de mais de 50% na produção de água para o período das vazões mais baixas do mês. A proporção da chuva em relação ao deflúvio foi praticamente a mesma para as duas microbacias, resultando em 6,6% para a MC e 6,8% para a MF.

A precipitação pluviométrica em Agosto, registrada para as duas microbacias, foi da magnitude de 100 mm para a MC e 85,9 mm para a MF. A média esperada para o mês é de 85,2 mm. Dessa forma, pode-se considerar como um mês com a chuva dentro da média esperada, com um leve excesso no campo. A chuva distribuiu-se nos primeiros 20 dias do mês com 7 dias com registro na MC e em 4 dias com registro na MF. Para o mês de Setembro, a chuva registrada na MF foi de 209,8 mm, enquanto que na MC esse valor foi bem maior, chegando a 265,7 mm, uma diferença de 55,9 mm. A média esperada para a região é de 143,9 mm. A distribuição das chuvas ficou em 10 dias com registro de chuva para a MC e 9 registros para a MF bem distribuídas ao longo do mês de Setembro.

Em relação à produção de água em cada período mensal, ainda dentro do período de 40% a 100% da curva de permanência, pode-se apenas fazer uma análise superficial com o deflúvio transformado em altura de lâmina de água em milímetros, comparando-se com a quantidade de chuva precipitada no período.

Em Outubro, os valores de vazão, representados em litros por hectare, postos na unidade de altura de lâmina de água (mm), representam um deflúvio de 10,41 mm e 26,77 mm para a microbacia florestada e de campo, respectivamente. Esses resultados são da magnitude de 15,4 % e 5,98% do que choveu no pluviômetro instalado no aberto, para a MC e MF, respectivamente.

Já em Novembro, os volumes transformados em altura de lâmina de água ficaram em 5,87 mm e 18,76 mm para a MF e MC respectivamente, resultando em aproximadamente 3 vezes mais água na microbacia de campo. Esses valores são da ordem de 20,2% e 6,3% da chuva do pluviômetro instalado no aberto, respectivamente para a MC e MF. Considerando-se que houve uma perda

significativa por interceptação na microbacia florestada para o mês de Novembro, da ordem de 16,57% (15,2 mm), ao descontar-se esse volume de interceptação que não gerou escoamento na floresta, a diferença observada para o campo também deve ser explicada por outros fenômenos como a capacidade de infiltração exercida pela floresta, que tem efeito no amortecimento do hidrograma e que contribui para o aumento do armazenamento subterrâneo e conseqüentemente maior regularização.

Em Dezembro, o volume escoado no canal, transformado em altura de lâmina de água, resultou em 2,62 mm e 4,35 mm para a MF e MC respectivamente, podendo-se inferir que grande parte desse volume na MF, foi oriunda do escoamento base. A representatividade da produção de água em relação a chuva precipitada na microbacia de campo foi de 62,14% e de 37,43% para a microbacia florestada.

Em Janeiro a altura de lâmina de água escoada dentro da  $Q_{40}$  foi de 2,03 mm para a MF e de 1,71 mm para a MC, representando uma magnitude de 2,12% para a MF e 1,79% da produção de água em relação à chuva precipitada. A quantidade de água superior na MF é indício de contribuição subterrânea, dado que o escoamento superficial foi muito pouco significativo (chuva bem distribuída no tempo). Essa maior produção de água na floresta, deve-se ao maior armazenamento subterrâneo resultante das chuvas dos meses chuvosos anteriores. A queda na curva de permanência da MF, representada na  $Q_{82}$ , aproximadamente, pode ser explicada por um período de 8 dias sem chuva, representando uma estiagem para a curva, antecedida por 3 eventos de pouca magnitude e bem espaçados e sucedido por mais 3 eventos quantitativamente mais representativos.

Em Fevereiro, a produção de água registrada, foi de 1,41 mm para a MF e de 1,35 mm para a MC. Mesmo levando-se em consideração o fato de ter chovido 17,8 mm a menos na MF, nada se pode inferir em relação a produção de água por essa mesma chuva, já que as curvas são produzidas com os dados de cerca de 18 dias (60% do tempo) com as menores vazões, o que provavelmente tenha abrangido apenas alguns eventos das chuvas ocorridas nos últimos dias do mês de fevereiro. A magnitude da produção de água em milímetros, em relação à chuva precipitada, foi de 0,65% para a microbacia de campo e de 0,74% para a microbacia florestada.

Em Março, a lâmina de água produzida foi de 1,69 mm para a MF, com pouca diferença em relação ao mês anterior e 2,65 mm para a MC, a qual praticamente dobrou a produção de água para o período analisado. No entanto, deve se

considerar que a quantidade de chuva precipitada na MC foi quase o dobro da MF. Comparativamente, a percentagem da produção de água dos 40% da curva de permanência em relação a chuva de cada microbacia, resultou em 3,25% para a MC e 3,9% para a MF.

Em Abril a altura de lâmina de água gerada no escoamento dos 40% da curva de permanência foi de 1,24 mm para a MF e 2,73 mm para a MC. Para a MF o escoamento diminuiu 0,45 mm e para a MC aumentou 0,08 mm, o que provavelmente ainda seja reflexo das menores chuvas na MF, nos meses de Fevereiro, Março e Abril. A proporção do volume de água transformados em mm de produção de água em relação à chuva do aberto, foi de 8,5% para a microbacia de campo e de 3,24 % para a florestada. A curva demonstra que em 5% do tempo, justamente nas mínimas vazões, houve mais água na microbacia florestada. Deve-se ainda, considerar o fato de que a interceptação foi da grandeza de 12,32% correspondendo a 4,61 mm a menos de chuva que chegou ao piso florestal.

Já em Maio, a produção de água para o mês foi de 1,66 mm para a microbacia florestada e de 4,21 mm para a microbacia de campo. Os valores encontrados de 3,73% e 1,63% são o comparativo do volume de produção de água em relação à chuva de cada microbacia. A magnitude da interceptação da chuva pela floresta, foi de 17,56%, ou 17,71 mm a menos de chuva para contribuição do escoamento total. Ademais, a produção de água no mês de Junho, foi de 1,77 mm para a microbacia florestada e de 4,97 mm para a microbacia de campo, sendo esta última quase 3 vezes maior que a da florestada, resultando em 20,7% e 7,4% a proporção “chuva x deflúvio” para a MC e MF, respectivamente.

Em Julho, a produção de água calculada no deflúvio foi da magnitude de 1,92 mm para a MF e 2,32 mm para a MC. A proporção da chuva em relação ao deflúvio foi praticamente a mesma para as duas microbacias, resultando em 6,6% para a MC e 6,8% para a MF. Ademais, neste período houve uma interceptação de 3,98 mm pela copa das árvores, atingindo cerca de 14,39% do precipitado no aberto. Esse fato, indica mais uma vez, um maior efeito de regularização na MF, pois a menor precipitação aliada as perdas por interceptação, não surtiram efeitos de queda sobre a produção de água no período de 40% da curva de permanência na MF.

Já em Agosto, a produção de água no córrego da microbacia florestada ficou em 2,85 mm, enquanto que na microbacia de campo, 3,52 mm cruzaram a seção do vertedor triangular na permanência de 40%. Especificamente, a proporção de

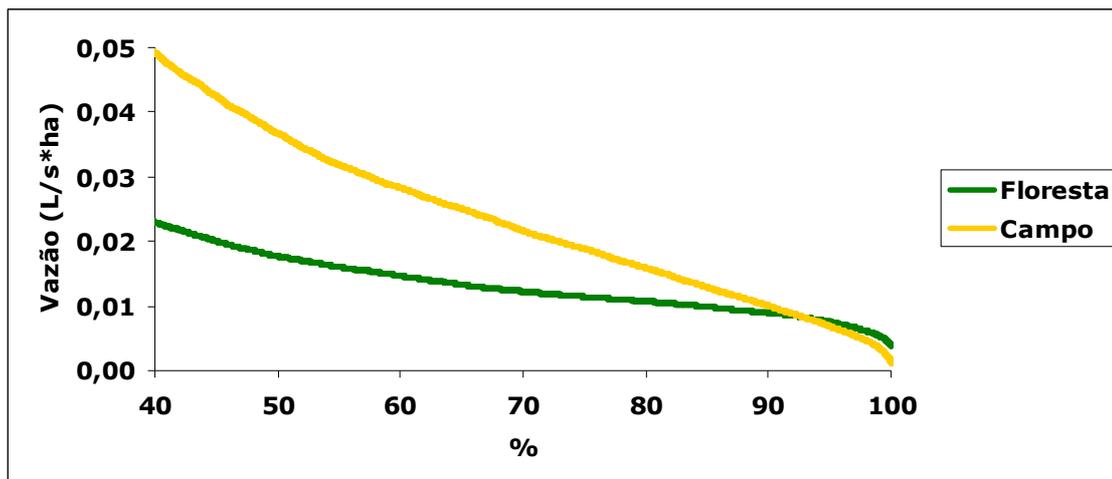
deflúvio nesse período, com o precipitado no aberto, foi de 3,5% para a microbacia de campo e 3,3% para a microbacia florestada, resultando em comparações quase idênticas, caso houvesse uma relação direta e objetiva da chuva com o deflúvio na permanência de 40%.

Também no mês de Agosto, são registradas as menores temperaturas no RS, logo, a evapotranspiração é reduzida e com ela a fotossíntese sofre uma queda. Logo, as chuvas bem distribuídas e normalmente de baixa intensidade (comum nessa época do ano) facilitam a infiltração e distribuição lenta da água ao córrego. Dessa forma, a curva de permanência captou alguns valores de vazão superiores aos meses anteriores. As curvas se cruzaram na  $Q_{90}$ , apresentando uma vantagem da floresta sobre as menores vazões equivalentes aos 3 dias mais secos do mês de Agosto. As menores vazões ocorreram nos primeiros 3 dias de Agosto, pois culminou com uma seqüência de vários dias com pouca chuva no mês anterior.

Por fim, em Setembro, a produção de água resultante do período analisado foi de 9,65 mm para a MF e 23,65 mm para a MC. Para se ter uma base comparativa apenas de grandeza entre os dois deflúvios, em relação às chuvas, a microbacia de campo mostrou 8,9% e a MF 4,6%. A interceptação no período ficou em 9,53%, representando 19,53 mm a menos de chuva para a MF, já que todo esse montante evaporou das copas das árvores e constituiu uma perda para o balanço hídrico.

### 6.3.2 Curva Anual para os 40% de permanência

Na Figura 6.18, é possível notar as características inerentes aos dados da série anual, no período de 40 a 100% da curva de permanência.



**Figura 6.18 – Curva anual para os 40% de permanência.**

A média de vazões para o período anual com 40% de permanência foi de  $0,013 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  para a microbacia florestada. Este registro ficou evidente na maioria das análises mensais realizadas, cujas quais, durante 7 meses consecutivos, permaneceram entre  $0,008 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  e  $0,013 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Por outro lado, na microbacia de campo, a média das vazões para os 40% de permanência anual, ficou em  $0,023 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ , praticamente o dobro da MF, porém, em apenas 3 (três) dos doze meses do ano, os valores situaram-se próximos à essa média. Houve grande variação da vazão ao longo dos meses estudados na MC.

A análise da produção de água para o período anual com 40% de permanência, não pode ser comparada com as curvas mensais. Isto, se deve ao fato de que as curvas mensais, são construídas utilizando-se dos valores mais baixos de vazão em 60% dos dias de cada mês, já a curva anual com 40% de permanência, é construída utilizando-se dos dados mais baixos de vazão dentro dos 12 meses, sendo que aqueles meses mais secos, contribuirão com mais dados de vazão para a curva, do que aqueles mais chuvosos.

Na MF, passou pela seção triangular do vertedor, durante os 60% do tempo das menores vazões, cerca de 24,96 mm, já na MC, a produção de água representou cerca de 44,21 mm. Outro ponto a ser observado, é que na vazão com permanência de 93% ( $Q_{93}$ ), ou seja, nas vazões anuais mais baixas, aquelas equivalentes a estiagem, a microbacia florestada apresentou mais água quantitativamente, o que se torna um ponto positivo, já que esse fato indicou um

aporte maior de recurso hídrico para a manutenção do ecossistema local, além da indicação de regularização da vazão e maior disponibilidade nas mínimas vazões em comparação com o campo.

#### 6.4 Avaliação anual do deflúvio e síntese de resultados

Para a avaliação global do deflúvio, as estatísticas são realizadas em relação a totalidades dos dados de vazão observados (curva de permanência anual), o que corresponde a 100 % do tempo estudado (Figura 6.19). Na Tabela 6.7, são apresentados os resultados específicos para 100% do tempo na curva de permanência.

**Tabela 6.7 – Demonstrativo global dos resultados das microbacias para 100% do tempo de curva de permanência.**

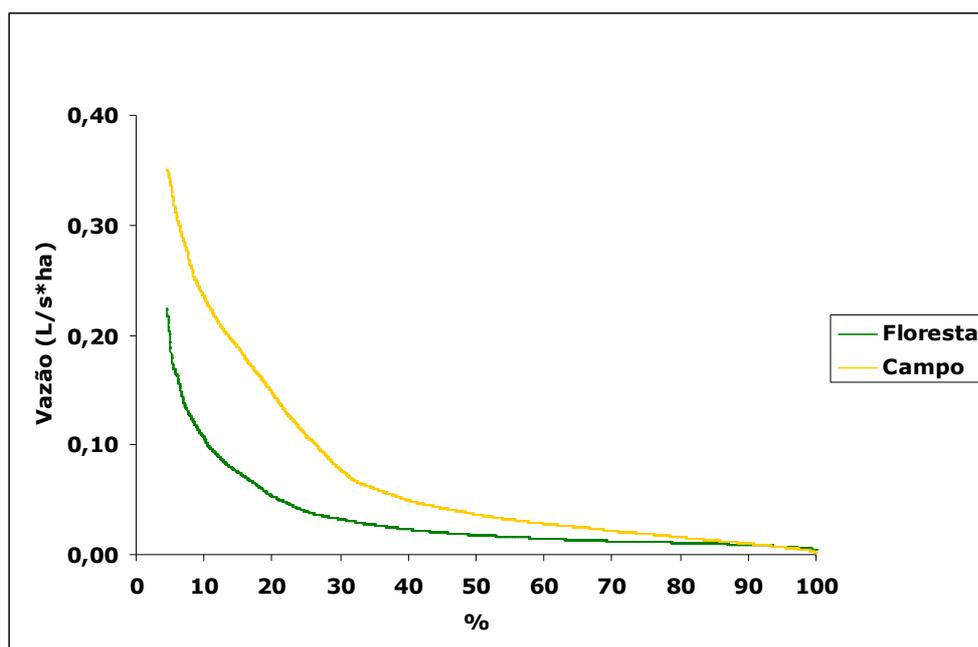
Mês	Mic. Florestada	Mic. Campo	Diferença %	Precipitação		Deflúvio		Interceptação		Incertezas (%)	
	100%	100%	$\frac{(mc-mf)-1}{*100}$	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC
	L/ha.mês	L/ha.mês	%	mm		mm		mm		%	
Out	589.329,91	1.089.287,62	84,8	374,00		58,93	108,93	85,62	28,05	7,66	0,94
Nov	184.006,63	505.679,71	174,8	93,00		18,40	50,57	15,41	6,98	0,42	0,00
Dez	64.476,38	143.437,61	122,3	7,00		6,45	14,34	1,17	0,53	0,00	0,00
Jan	54.493,75	116.110,93	113,0	97,50		5,45	11,61	10,05	7,31	0,00	0,14
Fev	83.651,36	165.523,06	81,1	193,5	211,3	8,37	16,55	15,52	14,51	0,74	0,45
Mar	82.244,76	90.494,25	-70,0	43,6	81,6	8,22	9,05	1,70	3,27	0,40	0,00
Abr	26.356,74	86.222,36	286,3	38,1	32,2	2,64	8,62	4,69	2,86	0,00	0,14
Mai	54.571,79	180.105,01	198,6	102,1	112,8	5,46	18,01	17,93	7,66	0,00	0,00
Jun	37.993,34	122.535,32	235,8	25	24	3,80	12,25	3,71	1,88	0,00	0,00
Jul	41.625,67	75.426,18	45,5	28,1	35	4,16	7,54	4,04	2,11	0,00	0,00
Ago	138.610,43	157.868,16	-2,2	85,9	100	13,86	15,79	9,83	6,44	0,67	0,00
Set	493.810,84	792.473,10	26,7	209,8	265,7	49,38	79,25	19,99	15,74	5,38	0,83
Anual	1.851.171,62	3.525.163,39	71,5%	1297,60	1434,10	185,18	352,52	189,67	97,32	1,29	0,20

Algumas análises a respeito dos registros são feitas a seguir.

##### 6.4.1 Curva anual para 95% do tempo e análise de 100% dos dados registrados

Para comparar-se a quase totalidade dos dados de vazão registrados durante o estudo, procedeu-se a confecção de uma curva que comportasse 95% dos dados registrados (Figura 6.19), a qual se apresenta bem mais visível e didática quando

comparada a de 100% dos dados. Quando se postou 100% dos dados, ou seja, considerou-se aqueles valores de vazão mais altos, resultantes do escoamento direto das chuvas, o gráfico ficou com o eixo y muito longo e impossibilitou a visualização comparativa entre as curvas nas vazões mais baixas. Logo, a curva com 95% dos valores mostrou-se muito didática para esta finalidade e sem prejuízo científico para a análise.



**Figura 6.19 – Curva anual para os 95% dos dados de vazão.**

Nesse gráfico (Figura 6.19), é possível notar-se a diferença na característica descendente de cada curva. Esse formato mais suave da permanência da MF, e o baixo valor da coordenada Y do primeiro ponto da curva, indica o potencial de amortecimento de cheias que a cobertura florestal da MF exerceu sobre os córregos que por ela cruzam. O maior valor de vazão registrado a partir dos 5 % para a MF foi de  $0,22 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ , bem abaixo dos  $0,35 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ , maior valor registrado para a microbacia de campo.

Essa característica da curva da MC, com valores de vazão mais altos em períodos com menor permanência no tempo e com uma queda brusca dos 5% aos 30% de permanência, é indício de maior escoamento superficial e sub-superficial,

comparado com a MF. Além disso, esse fato pode indicar um maior potencial erosivo da microbacia de campo em relação à MF, diminuindo assim, a disponibilidade de água em épocas críticas localizadas ao fim da curva de permanência, já que a infiltração também será quantitativamente menor.

Como o gráfico trata de um somatório da quase totalidade dos dados, pode-se inferir que, houve maior produção de água na microbacia florestada a partir dos 93% de permanência, índice de regularização, compreendendo justamente os períodos de estiagem em época de maior demanda na região que abrange o estudo. De certa forma, pode-se afirmar que houve mais água passando pelo córrego localizado nos eucaliptos durante os 25 dias mais secos do ano, ou seja, 7 % (100% - 93%) dos 365 dias. Além disso, a média das vazões registradas para 100% dos dados, ficou em  $0,06 \text{ L. s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  para a microbacia florestada e  $0,11 \text{ L. s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$  para a microbacia de campo.

As precipitações registradas para o período de Outubro de 2008 à Setembro de 2009 foram abaixo da média histórica da região. No pluviômetro da MC, o registro total foi de 1.434,1 mm, um montante de 136,5 mm a mais do que o registrado na MF. O período analisado pode ser considerado como levemente abaixo da média história dos últimos 30 anos, que para a região de Rosário do Sul é de 1582,1 mm.

A microbacia de campo levou uma vantagem quantitativa em número de dias com precipitação registrada, totalizando 54, bem acima dos 41 dias com chuva da microbacia florestada. No entanto, durante os meses de estiagem, se observou um maior efeito de regularização da vazão na microbacia florestada.

Em relação à produção anual do deflúvio com 100% dos dados (inclusive somando-se as vazões limites da seção do vertedor, quando extrapolado), pode-se dizer de maneira global, que há mais água no campo, porém, o que torna este tipo de resposta mais ou menos importante é a época em que há uma maior demanda dos usuários da bacia a jusante das microbacias. Por exemplo, o fato de haver mais água produzida em uma microbacia no inverno na região da Campanha do RS, não seria relevante se o uso prioritário dessa bacia fosse irrigação de lavoura orizícola, já que normalmente esse uso ocorre em períodos de menor oferta hídrica, ou seja, nos meses de verão.

As incertezas postadas na Tabela 6.7, se referem à percentagem dos dados que extrapolaram o vertedor. Esses valores foram maiores nos meses mais chuvosos, como Outubro de 2008, com 7,5% dos dados nessas condições e o mês

de Setembro de 2009, com 5,4% dos dados extrapolados, ambos na microbacia florestada em função da maior área de contribuição. Nos demais períodos, não houve mais do que 1% de extravasamento, tanto na MF quanto na MC.

Para a MC, o deflúvio anual foi de 352,52 mm, enquanto que na MF foi de 185,11 mm totalizando 24,6 % e 14,3 % da precipitação anual registrada em cada pluviômetro, para a MC e MF, respectivamente.

No entanto, um fator a ser considerado nesta diferença de deflúvio entre as microbacias, diz respeito à interceptação da chuva pela copa das árvores mais evaporação do campo existente na MF, durante todo o período de estudo. Este valor representou um montante de 189,67 mm a menos de chuva que adentrou o piso florestal, ou seja, um total de 15% subtraído da chuva precipitada no aberto. Ao se considerar uma interceptação de cerca 7,5% para o campo (valor possivelmente superestimado na MC e subestimado na MF, pois é provável que seja menor na MC em função do sobrepastoreio e maior na MF em função do abandono na MF), ter-se-ia uma redução de 97,32 mm na precipitação efetiva sobre o campo nativo.

Ao se contabilizar as perdas por interceptação nas duas bases experimentais, o deflúvio na microbacia florestada foi de 16,7% da precipitação efetiva, enquanto que a microbacia de campo transformou 26,37 % da precipitação efetiva em deflúvio.

Para o período anual dos dados, durante os meses de Março e Agosto, o deflúvio gerado foi proporcionalmente maior na microbacia florestada em relação ao campo. Em Março, esse fator é explicado pelo fato de haver precipitado quase o dobro na microbacia de campo e de ter gerado um deflúvio muito próximo ao córrego da floresta. A magnitude dessa diferença foi de 70% mais água produzida na MF pela chuva precipitada em relação ao campo.

No mês de Agosto, a chuva na MF, foi aproximadamente 15% menor em relação ao campo, no entanto, o deflúvio das duas microbacias foram muito parecidos, 13,9 mm para a MF e 15,8 mm para a MC. Este fato, resultou em 2% a mais de água produzida na microbacia florestada em relação à chuva .

Nestes dois meses (Março e Agosto) em que a microbacia florestada apresentou o maior potencial de transformar chuva em deflúvio, ficou nítida a capacidade de regularização do escoamento da floresta. Justamente os dois meses que os antecederam, (Janeiro e Fevereiro, Junho e Julho) foram aqueles que

registraram as vazões mais críticas no período da pesquisa. A diferença entre os demais períodos podem ser vistos na Tabela 5.6.

Em suma, ao se considerar o deflúvio de todo o período de 12 meses estudado, levando-se em consideração a disparidade de chuvas, o córrego que drena a microbacia de campo apresentou 78% a mais de água que o córrego que drena a microbacia florestada. Ademais, ao se considerar a precipitação efetiva transformada em deflúvio, o campo leva uma vantagem de 57% a mais de água, o que permite-se inferir que, se o tipo de solo é semelhante e não existe mais nenhuma perda de água não controlada, essa diferença basicamente é resultado da transpiração da cobertura vegetal de cada microbacia. Além disso, inclui-se a evaporação da serrapilheira e evaporação direta do curso de água, ambas em menor escala.

## **6.5 Balanço hídrico das microbacias**

### **6.5.1 Microbacia florestada**

Na Tabela 6.8, estão colocadas as variáveis essenciais ao balanço hídrico da microbacia florestada ao longo do período do estudo para a área de 92 hectares, com 48,8 ha cultivados com *Eucalyptus* e 43,2 ha que fazem parte da APP e Reserva Legal. Os dados da coluna “Interceptação”, incluem o balanço de perdas via interceptação da floresta somada ao campo nativo subtraídas da entrada via “escoamento pelo tronco” – Et. Além disso, na linha “representatividade %” estão postados os valores em percentagem em relação a precipitação incidente, que está representada por 100%.

**Tabela 6.8 – Balanço hídrico anual da microbacia florestada.**

Mês/Ano	Precipitação	Deflúvio	Interceptação	FNC *
	(mm) P	(mm) Q	(mm) I	
Outubro/2008	374	58,93	85,62	229,45
Novembro/2008	93	18,4	15,41	59,19
Dezembro/2008	7	6,45	1,17	-0,62
Janeiro/2009	97,5	5,45	10,05	82,00
Fevereiro/2009	193,5	8,37	15,52	169,61
Março/2009	43,6	8,22	1,70	33,68
Abril/2009	38,1	2,64	4,69	30,77
Mai/2009	102,1	5,46	17,93	78,71
Junho/2009	25	3,8	3,71	17,49
Julho/2009	28,1	4,16	4,04	19,90
Agosto/2009	85,9	13,86	9,83	62,21
Setembro/2009	209,8	49,38	19,99	140,43
<b>Anual</b>	<b>1297,6</b>	<b>185,12</b>	<b>189,67</b>	<b>922,81</b>
<b>Representatividade%</b>	<b>100</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>71</b>

\*Transpiração da APP + RL (mm)+Evaporação do solo (mm) + Evaporação Serrapilheira (mm) +Evaporação do Curso de Água (mm) + Infiltração Profunda (mm)

O uso da água pelos eucaliptos, proporcional a sua área (48,8 hectares), somado ao uso da água pelo campo (APP + RL) proporcional a sua área (43.2 hectares) e além disso, somado aos demais tipos de evaporação existentes no ecossistema florestal, foram da magnitude de 71% da principal entrada do sistema, ou seja, da precipitação no aberto. Somada a interceptação das copas e ramos dos eucaliptos e da porção de campo presente nesse tipo de cultivo, tem-se uma evapotranspiração de 86%, restando, portanto, os 14% perdidos via deflúvio da microbacia, completando dessa forma o balanço da MF.

Infere-se assim, que a microbacia florestal, no formato de mosaico florestal, com floresta plantada entremeada por corredores ecológicos de vegetação natural, durante os 12 meses da pesquisa, utilizou 1107,9 mm da precipitação total incidente, ao se contabilizar todas as entradas e saídas do sistema hidrológico local.

Ainda, tratando-se do balanço hídrico da microbacia florestada, ao se considerar a chuva total incidente sobre a cobertura florestal, descontados o deflúvio e a interceptação intrínseca à floresta, tem-se um valor específico de uso de água por planta/dia.

Nesse sentido, em uma chuva acumulada de 1297,6 mm no ano, descontados 185,12 mm de deflúvio mais 359,26 mm de interceptação das copas dos eucaliptos e somados os 43,8 mm de entrada via escoamento pelo tronco, resta como o uso anual das árvores, a quantia de 797,02 mm.

Logo, pode-se inferir que, para o presente estudo, o uso da água por planta de eucalipto (incluídas as evaporações não controladas), em espaçamento 3m x 2m (1.667 plantas por hectare) e idade aproximada de 3 anos, chegou-se em média a 13,1 Litros de água utilizada por planta/dia.

### 6.5.2 Microbacia de campo

Na Tabela 6.9, estão contabilizados o balanço anual da microbacia de campo para o montante de 21 hectares, com os dados observados e para as percentagens disponíveis na literatura (interceptação da vegetação campestre).

**Tabela 6.9 – Balanço hídrico anual da microbacia de campo.**

Mês/Ano	Precipitação (mm) P	Deflúvio (mm) Q	Interceptação (mm) I	FNC *
Outubro/2008	374	108,93	28,05	237,02
Novembro/2008	93	50,57	6,98	35,46
Dezembro/2008	7	14,34	0,53	-7,87
Janeiro/2009	97,5	11,61	7,31	78,58
Fevereiro/2009	211,3	16,55	14,51	180,24
Março/2009	81,6	9,05	3,27	69,28
Abril/2009	32,2	8,62	2,86	20,72
Maio/2009	112,8	18,01	7,66	87,13
Junho/2009	24	12,25	1,88	9,88
Julho/2009	35	7,54	2,11	25,35
Agosto/2009	100	15,79	6,44	77,77
Setembro/2009	265,7	79,25	15,74	170,72
<b>Anual</b>	<b>1434,1</b>	<b>352,51</b>	<b>107,56</b>	<b>984,27</b>
<b>Representatividade%</b>	<b>100</b>	<b>25</b>	<b>7.5</b>	<b>67.5</b>

\*Transpiração do Campo (mm)+Evaporação do solo (mm) + Evaporação Serrapilheira (mm) +Evaporação do Curso de Água (mm) + Infiltração Profunda (mm)

A evapotranspiração que inclui a interceptação pela vegetação do campo, mais a transpiração das espécies nativas do Bioma Pampa, mais os demais tipos de evaporação, somaram 75% das perdas do sistema. O deflúvio anual da microbacia representou 25% de toda a entrada via precipitação.

Infere-se portanto, que o uso global de água na microbacia de campo foi de 1081,6 mm da precipitação total incidente. O resultado do balanço hídrico da MF só

pode ser comparado com o resultado hídrico da MC em termos percentuais, em função da quantidade de chuva incidente ser diferente nas duas microbacias.

### 6.5.3 Análise comparativa do Balanço Hídrico

Na Tabela 6.10 encontra-se o resumo comparativo da microbacia de campo e microbacia florestada.

**Tabela 6.10 – Resumo comparativo dos valores encontrados na microbacia de campo (testemunha) e microbacia florestada.**

Variável	Microbacia de Campo	Microbacia Florestada	Diferenças da MF em relação a Precipitação	Diferenças da MF em relação a MC.
Precipitação	1434,1	1297,6	-	-
Deflúvio	25%	14%	11%	42%
Interceptação	7,50%	15%	7,50%	100%
FNC	67,50%	71%	3,50%	4,90%

Os valores apresentados nas duas últimas colunas da Tabela 6.10, correspondem às diferenças da microbacia florestada, sempre em relação à testemunha (MC). Na penúltima coluna são apresentados os resultados da MF em relação à MC, tomada a precipitação total anual como referência comparativa. E na última coluna, tomou-se apenas a MC como referência, inferindo-se então que, estes resultados, sejam os ganhos ou perdas da microbacia florestada em relação à testemunha ou microbacia de campo.

Comparando-se os coeficientes de escoamento (razão entre total escoado pelo total precipitado) de cada microbacia, pode-se inferir que durante o período analisado, houve uma redução da produção hídrica pela microbacia florestada em relação à microbacia de campo, na ordem de 11%.

Considerando-se a comparação em termos de deflúvio (total do escoamento nas seções monitoradas), pode-se observar uma redução de 42% no total do deflúvio produzido pelo cultivo florestal em comparação com a microbacia

testemunha de campo, ou analisando-se de outra forma, pode se dizer que a produção de água na MC é 78% maior que na MF. Esta redução foi calculada, considerando o deflúvio da microbacia de campo como 100% e por meio de regra de três simples, calculou-se a produção de água da MF comparável a MC. Uma simples subtração entre os dois valores resultou no resultado supracitado.

A interceptação da microbacia florestada englobou um somatório de perdas (interceptação da floresta + interceptação do campo) aliada a um ganho não monitorado, que é o escoamento de água pelo tronco. Em função da dificuldade em se medir a interceptação no campo, usou-se o valor médio mensal de 7,5% encontrado na literatura. Logo, a interceptação global da microbacia florestada foi de 15 % em relação à precipitação incidente e aumentou em 100,4% as perdas por interceptação, comparadas à cobertura vegetal do campo nativo que foi na magnitude de 7,5% do total precipitado durante o período da pesquisa, valor extraído da literatura.

A transpiração da cobertura florestal e a junção das demais grandezas evaporadas, e infiltração profunda, foram na ordem de 71% da precipitação incidente conforme Tabela 6.8. Na microbacia campestre, esse valor chegou a 68%. No entanto, comparando-as, infere-se que a microbacia de cultivo florestal elevou em 4,2% o uso de água pelas árvores e demais evaporações em relação ao campo. Um fator a ser considerado, é o maior potencial de evaporação de água no solo da microbacia de campo, devido ao fato de estar mais exposta aos efeitos do vento e provavelmente maior oscilação térmica durante o dia.

Portanto, não se pode afirmar que esta pequena diferença de 4,2 % diz respeito apenas à diferença de transpiração entre as duas coberturas vegetais de cada microbacia, por 3 motivos principais: no primeiro, pode-se dizer que provavelmente a microbacia de campo esteja muito mais propensa à evaporação de água do solo por estar mais exposta à radiação solar direta, ventos fortes, grande oscilação de temperatura e com a camada compactada de solo pelo gado, há uma formação de lâmina de água exposta facilitando a evaporação.

Além disso, em segundo lugar, a microbacia florestada provavelmente forme um microclima diferenciado sob as copas das árvores (sombra, baixa oscilação de temperatura, menor evaporação de água do solo, menos vento, não há formação de lâmina de água superficial em eventos de chuva). E em terceiro, na microbacia

florestada, as árvores representam pouco mais da metade da área da microbacia, sendo o restante campo.

Em se tratando da evapotranspiração como um todo, os valores ficaram em 86% para a microbacia florestada em relação a precipitação total e em 75% na microbacia de campo. Avaliando-se o aumento da evapotranspiração do ambiente florestal em relação ao campo, conclui-se que nesse estudo, houve um acréscimo de 14,6 % em relação ao ecossistema original do bioma Pampa.

Durante o balanço hídrico, não se considerou a interceptação de água pela vegetação florestal nativa presente no entorno dos cursos de água, utilizou-se o coeficiente de interceptação (7,5%) do campo como geral. Isso ocorreu, em função da dificuldade em se medir ou estimar valores de interceptação nas duas microbacias.

A decisão em negligenciar esta variável, surgiu do fato de que a vegetação de galeria da MF, é aproximadamente 4 vezes maior que a vegetação de galeria da MC, sendo portanto, quase que proporcionais às suas áreas de influência, motivo pelo qual, quantitativamente, faz com que se anulem, sem grandes prejuízos aos percentuais comparativos de interceptação da vegetação arbórea nativa das microbacias.

## **6.6 Avaliação da eficiência da estrutura hidráulica para estimativa da disponibilidade Hídrica.**

Devido ao fato de a base experimental ter sido montada e testada pela primeira vez no local da pesquisa, além de serem usados equipamentos inovadores para essas condições de pesquisa, procurou-se sempre responder algumas questões semelhantes às propostas por Silveira (1997), das quais as respostas satisfatórias concluiriam o êxito na montagem da estrutura para realização do estudo. São elas:

### 6.6.1 Qual o percentual de tempo em que o vertedor conseguiu monitorar as vazões?

O vertedor tem a capacidade de avaliar vazões correspondentes à 0,35 m de cota (aprox.  $101 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Durante os eventos de chuva na MC, o vertedor registrou dados em cerca de 99,8% (18 dados inválidos de 8.885 dados) do tempo, porém, na MF, em função de o vertedor possuir o mesmo dimensionamento da MC e a área ser aproximadamente 4 (quatro) vezes maior, a eficiência de registro dos dados do vertedor foi de 98,7% (113 dados inválidos) dos dados coletados de hora em hora durante os 365 dias.

### 6.6.2 O percentual de tempo monitorado, nos 12 meses do estudo, foi suficiente para desenvolver a avaliação da disponibilidade hídrica comparativa entre floresta e campo?

Sim. O objetivo do estudo foi verificar se a mudança de uso do solo, de pastagem nativa, para a silvicultura do eucalipto, traria alguma vantagem quantitativa aos recursos hídricos locais nas microbacias em períodos secos do ano. Para isso, utilizou-se como metodologia a permanência dos 40 % aos 100 % das vazões de cada córrego. Ainda que a metodologia de avaliação fosse outra, ter-se-ia a precisão a partir dos 2,3 % (em função dos 98,7% de validade dos dados da MF) da permanência até os 100%, já que as cotas inválidas registradas são aquelas equivalentes as poucas horas em que a vazão ultrapassa a capacidade do vertedor em grandes eventos de chuva.

Porém, os resultados são válidos única e exclusivamente para o período do estudo, não podendo ser extrapolados para outras microbacias ou mesmo tomados como única referência. Utilizando-se do princípio da parcimônia, o mais correto seria de se analisar um ciclo completo do eucalipto dentro da microbacia (aproximadamente 7 anos), ou no mínimo os últimos 4 anos que antecedem a colheita.

### 6.6.3 Por que a permanência de 40% como base para o estudo?

A avaliação de disponibilidades hídricas em bacias menores que 100 km<sup>2</sup>, segundo Silveira e Tucci (1998) e Cruz (2001), é condição necessária para avaliação de disponibilidade hídrica de uma microbacia, de pequenos aproveitamentos de recursos hídricos, preservação ambiental e instrução de processos para outorga de uso dos recursos hídricos. Os mesmos autores, afirmam que o segmento de maior interesse em um fluviograma está no trecho de 50% e 95% de permanência, por considerar que de 0% a 49,9% ainda estão incutidas as vazões de escoamento de água proveniente das chuvas, não interessantes ao planejamento de uso e gestão de recursos hídricos. Porém, como os dois objetos de estudo dessa presente dissertação tem características peculiares como:

Serem microbacias de cabeceira; áreas consideradas mínimas para vazões perenes; tempo de concentração de aproximadamente 1 hora para a maior microbacia; na separação do escoamento (superficial x subterrâneo), a contribuição subterrânea ou deplecionamento retorna em cerca de 5 horas, cessada a precipitação na maior microbacia.

Logo, inferiu-se que, ao se considerar 40% de permanência para microbacias com essas características, ter-se-ia ainda, a disponibilidade considerada como de médias e baixas vazões e sem influência do escoamento superficial e subsuperficial, mesmo aumentando em 10 % o segmento proposto por Silveira e Tucci (1998).

### 6.6.4 Quais as dificuldades de ordem operacional encontradas para a manutenção da base e quais as perspectivas de uso do esquema?

Em função das características topográficas da paisagem do Pampa, os canais de drenagem normalmente não são muito profundos, o que resulta em uma dificuldade operacional, já que as cotas altas da lâmina de água escoada nas chuvas normalmente extravasam a calha do córrego.

Grande dificuldade em encontrar microbacias pareadas com os usos requisitados para a pesquisa, que possuíssem o fluxo perene de água. Logo, dentro de uma otimização de custos, tempo de percurso, acesso local, áreas disponíveis,

observadores de campo, uso do solo compatível com a pesquisa, mesmo tipo de solo, chuvas semelhantes.

Dificuldade em encontrar um local adequado para a instalação de pluviômetros do tipo “*ville de paris*”, que estivesse em conformidade com metodologia de Santos et al. (2001) e que além disso, fosse próximo de observadores considerados capacitados afim de minimizar uma fonte de erro.

O custo de locomoção torna-se alto, por haver a necessidade de veículo 4x4 para se chegar ao sítio da pesquisa e transportar os equipamentos e instrumentos necessários ao bom andamento do estudo. O custo médio mensal para manter um veículo dessa natureza, situa-se em torno de R\$ 600,00, mais custos com combustível.

Em função de se estar monitorando o comportamento hidrológico de uma espécie de rápido crescimento como o eucalipto e pelo fato da pesquisa ter começado quando as árvores tinham aproximadamente 2 anos de idade, houve alguns problemas relacionados a mensuração do escoamento de água pelo tronco. O método que mede essa variável aplica-se apenas a árvores adultas e além disso, o método adaptado com espuma de poliuretano, frequentemente necessitou de manutenção em função do incremento diamétrico do tronco. Logo, essa variável não foi mensurada.

As perspectivas para o uso da base são as melhores possíveis. Para o objetivo proposto, a estrutura montada conseguiu cumprir sua função em sua quase totalidade, com custos reduzidos a cerca 30% quando comparados com estruturas mais robustas como lisímetros e seus frequentes problemas e elevada manutenção.

Para o pareamento das microbacias e problemas relacionados a profundidade dos canais, não há solução em curto/médio prazo. Em relação a melhor abrangência e qualidade de dados de chuva, o problema será solucionado instalando-se pluviógrafos automáticos, que além de dar mais precisão às chuvas registradas na microbacia, trazem a possibilidade de incorporar a variável intensidade de chuva nos estudos.

O custo de locomoção e de administração de veículos manter-se-ão sob controle enquanto houver recursos de projetos, com rubrica capaz de financiá-lo. Já em relação ao escoamento de água pelo tronco, com a diminuição do incremento diamétricos das árvores a partir do ano de 2010, haverá a possibilidade de

instalação de novos instrumentos de coleta de água pelo tronco com menos manutenção, custos e incertezas.

## 7 CONCLUSÕES

O teste piloto de interceptação na floresta, apresentou um coeficiente de determinação de 0,87, quando correlacionadas as médias por coleta, da precipitação interna e da chuva incidente. No entanto, quando plotados os valores globais no gráfico, nota-se um grande desvio dos registros, fato este que estatisticamente, indicou a necessidade de instalação de uma grande quantidade de instrumentos de coleta de precipitação interna, interceptômetros, a serem instalados, para satisfazer o erro mínimo pretendido e um intervalo de confiança de 90%. Por meio do balanço de resultados, observa-se que a água que não chega à superfície do solo na MF, é da ordem de 15% da chuva incidente, perfazendo praticamente o dobro do montante interceptado na vegetação campestre, que, conforme a literatura, representa 7,5% da precipitação incidente.

A microbacia de campo, pela sua natureza produtiva com criação de gado e por vezes sobrepastoreio, apresentou maior escoamento superficial e subsuperficial, resultando em um menor armazenamento e menor produção de água em períodos críticos de estiagem. Este fato, pode ser relacionado ao baixo índice de recarga subterrânea em períodos mais chuvosos. Por outro lado, a microbacia florestada, mesmo apresentando menor disponibilidade de água na maioria dos meses, mostrou-se com o deflúvio mais regularizado ao longo do ano e com maior disponibilidade hídrica nos períodos considerados de estiagem.

No interior da floresta, em função do microclima criado, as evaporações podem ser de menor magnitude. Por esse motivo, infere-se que a pequena diferença entre as duas microbacias, reside no balanço de energia incidente. Logo, as diferenças de transpiração entre eucalipto e campo, podem ser maiores que os 4,2% apresentados, assim como as perdas evaporativas não controladas neste estudo, devem ser de maior magnitude na microbacia de campo.

Na contabilização de entradas e saídas de água do sistema para o período estudado, estima-se que o uso médio diário de água de uma planta de eucalipto cultivado na MF, nas condições da pesquisa, para seu espaço vital de aproximadamente 6 m<sup>2</sup>, não ultrapasse os 13,1 litros (incluídas as evaporações não controladas e infiltração profunda).

## 8 RECOMENDAÇÕES

Para melhor compreender a magnitude e funcionamento das variáveis não controladas nesse estudo, sugere-se a avaliação da interceptação da vegetação campestre dentro da microbacia de campo, em estudos posteriores.

Além disso, em função das diferenças ocasionadas pelo abandono da vegetação (retirada do gado) na área de vegetação campestre dentro da MF, existe a necessidade de se avaliar essa componente nas condições em que elas se apresentam após serem agregadas às áreas de silvicultura.

Também existe a necessidade de se avaliar outras variáveis aqui estimadas, como o escoamento de água pelo tronco, evaporação da serrapilheira dos eucaliptais e perdas de água no solo por evaporação.

Existe ainda, a necessidade de se monitorar a intensidade da chuva no experimento de interceptação, por meio da instalação de pluviógrafos automáticos, em função da distância da casa do observador. Além disso, seria interessante a instalação de torres para elevar os pluviômetros dentro da microbacia.

Outra sugestão de estudo, diz respeito à medição da interceptação da mata de APP, situada no entorno dos cursos de água em ambas as microbacias.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AG SOLVE** – Monitoramento Ambiental. Disponível em: < <http://www.agsolve.com.br> >. Acesso em 05 dez. 2009.

AGEFLOR - **Associação Gaúcha de Empresas Florestais**. Disponível em: < <http://www.Ageflor.com.br> >. Acesso em: 19 nov. 2007.

ANDRADE, E. N. **O reflorestamento do Brasil e a Companhia Paulista de Estradas de Ferro**. Rio Claro, SP: Typographia Conrado, 1922.

ARACRUZ CELULOSE. **Sem -Terras encapuzados fazem vandalismo no RS**. 2006. Disponível em <[http://www.aracruz.com.br/show\\_press.do?act=news&id=1000105&lang=1](http://www.aracruz.com.br/show_press.do?act=news&id=1000105&lang=1)>. Acesso em: 07 out. 2009.

ARCOVA, F. C. S. **Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na Serra do Mar**. 1996. 130 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, SP, 1996.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Características do deflúvio de duas microbacias no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerchih, Cunha – SP. **Revista Instituto Florestal de São Paulo**, v. 9, n. 2, p. 153-170, 1997.

AZEVEDO, F. B. Análise de medições de vazão e definição de curva-chave. **A Água em Revista**, Belo Horizonte, MG, v. 2, p. 48-51, 1994.

BARRETO, C. E. A. G. **Balanço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa**. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

BAUMHARDT, E. et al. A Questão da Vegetação Ripária em Situação de Mudança de Uso do Solo: o caso da silvicultura na metade sul do RS. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9., 2008, Salvador, BA. **Anais...** Salvador: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2008. 1 CD-ROM.

BAUMHARDT, E. et al. Intensidade de Amostragem de Interceptômetros em Microbacia Florestada para Validação de Dados de Interceptação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande, MS. **Anais...**, Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. 1 CD ROM.

BEHLING, H. et al." Late quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil". **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaecology**, v. 203, n. 3-4, p. 277-297, fev. 2004.

BENETT, C.; ALMEIDA, M.; CASTILHO, M. W. V. Gestão de recursos naturais: Sitio São Brás, município de Carlinda, MT". **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, v. 2, n. 1, 2002.

BERRETTA, E. J. Ecophysiology and management response of the subtropical grasslands of southern South America. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro. **Proceedings...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p. 939-946.

**BRACELPA** – Associação Brasileira de Papel e Celulose, 2009. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/booklet/booklet.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2009.

BRASIL. Lei n. 11.428, de 22 de Dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, dez. 2006. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato20042006/2006/Lei/L11428.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20042006/2006/Lei/L11428.htm)>. Acesso em: 08 jan. 2010.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 302, DE 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 mar 2002. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30202.html>>. Acesso em: 04 jan. 2010.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 303, DE 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 mar. 2002. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 04 jan. 2010.

BRASIL. Lei n. 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, fev. 1998. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/gab/asin/lei.htm>>. Acesso em: 06 de jan. 2010.

BRASIL. Lei n. 9.433 de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 08 jan, 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS /L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS /L9433.htm)>. Acesso em: 07 out. 2009.

BURCH, G. J.; BATH RK, MOORE, I. D.; O'LOUGHLIN, E. M. Comparative hydrological behaviour of forested and cleared catchments in south-eastern Australia. **Journal of Hydrology**, v. 90, p. 19-42, 1987.

BUCKUP, L. A **Monocultura com eucaliptos e a sustentabilidade**. Porto Alegre, RS, 2006. Disponível em: <<http://www.natbrasil.org.br>>. Acesso em: set. 2007.

BURKART, A. Evolution of grasses and grasslands in South America. **Táxon**, 1975, p. 53-66.

CALDER, I. R.; HALL, R. L.; PRASANNA, K. T. Hydrological impact of Eucalyptus plantation in India. **Journal of Hydrology**, v. 150, n. 2/4, p. 635 - 648, Oct. 1993.

CALDER, I. R.; HALL, R. L.; ADLARD, P.G. **Growth and Water Use of Forest Plantations**, Chichester: John-Wiley, 1992. 381 p.

CHAVES, M. **Eucalipto fará o Jequitinhonha de SP?** Disponível em: <<http://www.estado.estadao.com.br/editorias/03/03/08/aberto002.html>>. Acesso em: 13 maio 2003.

COLLISCHONN W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. Porto Alegre: UFRGS: IPH, 2008. 151 p.

COSSALTER, C.; PYE-SMITH, C. **Fast-wood forestry: myths and realities**. Jakarta: Forest Perspectives: CIFOR, 2003.

COSTA, E. B. **"História Ilustrada do Rio Grande do Sul"**. Porto Alegre: Já Editores, 1998.

CPRH N 2004. **Medição de vazão de efluentes líquidos: escoamento Livre**. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/ normas-cprh-2004.pdf>> Acesso em: nov. 2008.

CREA-RS. **Conselho em Revista**. Disponível em: <<http://saturno.crea-rs.org.br/crea/pags/revista/35/capa.asp>> Acesso em: 21 nov. 2007.

CRH – Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul. **Avaliação qualitativa das disponibilidades e demandas de água na bacia hidrográfica do Baixo Jacuí**. Porto Alegre, RS: Secretaria das Obras Públicas, Saneamento e Habitação do Governo do Estado do Rio Grande do Sul (SOPSH): Fundo de Investimentos em Recursos Hídricos, 1999. (Relatório técnico).

CRUZ, J. C. **Disponibilidade Hídrica para Outorga**: avaliação de aspectos técnicos e conceituais. 2001. 205f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. (Jan/Mar). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, p. 111-124, 2008.

DESCOVI FILHO, L. L. V. et al. Subsídios Ambientais para o Enquadramento das Águas Subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Rio Grande do Sul. **Anais eletrônicos...** [S.l.:s.n], 2008. Disponível em: <[http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/ASUB/Publica%E7%F5esAsub/artigo\\_final.pdf](http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/ASUB/Publica%E7%F5esAsub/artigo_final.pdf)>. Acesso em: 19 de maio 2009.

DEWALLE, D. R.; PIONKE, H. B. Streamflow generation on a small agricultural catchment during autumn recharge. II: Stormflow periods, **Journal of hydrology**, v. 163, n. 1-2, p. 23-42, 1994.

ECKERT, R. M.; CAYE, B. R. **Cadastramento de poços da cidade de Livramento/RS**. Porto Alegre, CPRM, 1995. v. 145, il.; mapa. Projeto Cadastramento de Poços do Rio Grande do Sul..

EMBRAPA. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/index.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2008.

ESPINOZA, H. F.; ABRAHAM A. M. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para o estudo dos recursos hídricos em regiões costeiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. p. 2487- 2494.

ESPÍRITO SANTO. Lei n. 6.780, de 3 de outubro de 2001. Proíbe, por tempo indeterminado, o plantio de eucalipto para fins de produção de celulose no Estado e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Espírito Santo**, Espírito Santo, ES, 4 de out. 2001. Disponível em: <<http://www.ibase.org.br/paginas/deserto.html>>. Acesso em: 09 jan. 2008.

FARLEY, K. A.; JOBBAGY, E. G.; JACKSON, R. B. Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology**, v. 11, p. 1565 - 1576, 2005.

FENNESSEY, N.; VOGUEL, R. M. Regional flow-duration curves for ungauged sites in Massachusetts. In: **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. . 116, n. 4, p. 530-549. Jul/Aug. 1990.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta**, Manaus, v. 35, n. 1, p. 55-62, jan. 2005.

FORTES, A. B. **Geografia física do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Globo, 1959.

GARCEZ, L. N. **Hidrologia**. São Paulo: E. Blucher, 1976. 249 p.

GARCIA, S. M.; RIGHES, A. A. Vertical Mulching e manejo da água em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 833 - 842. 2008.

GÊNOVA, K. B. de; HONDA, E. A.; DURIGAN, G. Processos Hidrológicos em Diferentes Modelos de Plantio de Restauração de Mata Ciliar na Região de Cerrado. **Revista do Instituto Florestal**, 2007.

GOLDENFUM, J. A. Pequenas Bacias Hidrológicas: conceitos básicos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (OrgS.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

GREGORY, K. J.; WALLING, D. E. **Drainage Basin Form and Process: a geomorphological approach**. [S.l.]: J. Wiley and Sons, 1973. 456 p.

**GUIA PESCA DE PRAIA**, 2009. Disponível em: <<http://www.guiapescadepraia.com.br/album/atmos02.jpg>>. Acesso em: 15 jan. 2010.

HARRIS, N. M. et al. Classification of river regimes: a context for hydroecology. In: **Hydrological Processes**. [S.l.]: J. Wiley & Sons, Ltd, 2000. v. 14, p. 2831-2848.

HASENACK H.; CORDEIRO J.L.P.; COSTA B.S.C.. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL, 2., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS - Departamento de Forrageiras e Agrometeorologia, 2007. p.15-22.

HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal**. Porto Alegre: Já Editores, 2006. 127 p.

HAUSMAN, A. Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS. **Acta Geológica Leopoldensia** (Série Mapas, escala 1:50.000), n. 2. 1995. p. 1-127.

HORNBERGER, G. M. et al. **Elements of physical hydrology**. Baltimore: J. Hopkins University Press, 1998.

**IBGE 2006**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.br>>. Acesso em: 05 set. 2006.

IBGE 2004. **Mapa da vegetação do Brasil e Mapa de Biomas do Brasil**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: out. 2008.

JACOBS, J. M.; VOGUEL, R. M. Optimal allocation of water withdrawals in a river basin. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.. 124, n. 6, p. 357-363. Nov/Dec. 1998.

**JORNAL ZERO HORA**. 2009. Caderno de Economia. Pólo de Celulose pode Ganhar força. Disponível em: <<http://zerohora.clicrbs.com.br/zerohora/jsp/default.jsp?uf=1&local=1&newsID=a2663763.xml&channel=13&tipo=1&section=Geral>>. Acesso em 24 de set. 2009.

KELMAN, J. Gerenciamento de Recursos Hídricos. Parte I: outorga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: ABRH, 1997.

KELMAN, J. Gerenciamento de recursos hídricos. Parte I: Outorga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 8., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. 1 CD-ROM.

KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. **Revista OESP Construção**, São Paulo, ano 5, n. 32, p.112-117, 2000.

LAL, R. Deforestation and land use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. 1. Soil physical and hydrological properties. **Land Degradation and Development**, v. 7, n. 1, p. 19-45, 1996.

LANNA, A. E. L. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre. Ed. UFRGS/ABRH, 1993. cap. 4

LANNA, A. E. L.; BENETTI, A.D. (2000). **Estabelecimento de critérios para definição da vazão ecológica no Rio Grande do Sul**. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS: Secretaria de Meio Ambiente - Fundação Estadual de Proteção Ambiental, 2000. (Relatório 1 - revisão do estado da arte).

LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W.K.; VILLA NOVA, N.A. Real evapotranspiration and transpiration through a tropical rain forest in central Amazonia as estimated by the water balance method. **Forest Ecology and Management**, v. 73, p. 185-195, 1995.

LIKENS, G. E. An experimental approach for the study of ecosystems. **Journal of Biology**, v. 73, p. 381-396, 1985.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba, São Paulo: [s.n.], 2008.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do Eucalipto**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1996.

LIMA W. P. Indicadores hidrológicos ao manejo sustentável de plantações de eucalipto. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: Embrapa CNPF, 1997. p. 12-29.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, S.P: Gráfica do IPEF, 1986.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. **As florestas plantadas e a água**: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Paulo: Rima, 2006.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Indicadores hidrológicos em áreas Florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 31, p.53-64, 1998.

LULL, H. W. Ecological and Silvicultural Aspects. In: V. T. Chow (Ed.). **Handbook of applied hidrology**. New York: [s.n.], 1964. p. 6-1 – 6-30.

MARTINI, A. J. **O plantador de eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade.** 2004. 178 f. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade de São Paulo São Paulo, 2004.

MARTINS, E. S. P. R.; PAIVA, J. B. DIAS de. Quantidade dos Recursos Hídricos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Orgs.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

RIO GRANDE DO SUL. Ministério Público 2005. Disponível em: <<http://www.mp.rs.gov.br/>> imprensa/ noticias/ id4362.htm. Acesso em: 22 jul. 2009.

MIRANDA, R. A. C. et al. Interceptação de chuva em cafezais adensados da região serrana centro-norte fluminense. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, 2004.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.

MOSCA, A. R. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas.** 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MOSTER, C. **Avaliação hidrológica da zona ripária através da análise da água subterrânea ao longo das vertentes de uma microbacia experimental.** 2007. 83 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

NABINGER, C. **Monocultivo de árvores, papel e árvores na metade Sul do Estado do RS.** Porto Alegre: [s.n.], 2005. p. 4

NOSETTO, M. D.; JOBBÁGY, E. G.; PARUELO, J.M. Land-use change and water losses: the case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina. **Global Change Biology**, v. 11, p.1101 - 1117, 2005.

NOVAES, R. F. Aspectos nutricionais e ambientais do Eucalipto. **Revista Silvicultura**, n. 68, p. 10-17, 1996.

OKI, V. K. **Impactos da colheita de Pinus taeda sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias.** 2002. 87 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, L. L. et al. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazônica**, v. 38, p. 723-732, 2008.

PAMPA – silencioso e desconhecido. **Revista Eletrônica IHU**. Disponível em: <<http://www.unisinos.br/ihu>>. Acesso em: ago 2009.

PANARIO, D. et al. **Síntesis de los efectos ambientales de las plantas de celulosa y del modelo forestal en Uruguay**. Montevideo – UY: Facultad de Ciencias, 2006. Informe interno.

PERRY, D. A.; MAGHEMBE, J. Ecosystem concepts and current trends in forest management: time for reappraisal. **Forest Ecology and Management**, v. 26, p.123 - 140, 1989.

PESSOA, C. A reserva de um milhão de eucaliptos. **Revista Terra**. Disponível em : <<http://www.revistaterra.com.br>. Acesso em: 27 fev. 2009.

PILGRIM, D. H. et al. **Water balance and runoff characteristics of mature and cleared pine and eucalypt catchments at Lidsdale, New South Wales**. The First National Symposium on Forest Hydrology. Australia, The Institution of Engineers. National, Conference Publication, n. 82/6, p.103-110, 1982.

PILLAR, V de P. et al. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 403 p.

PILLAR, V. de P.; QUADROS, F.L.F. "Grassland-forest boundaries in southern Brazil". **Coenoses Gorizia**, v.12, n. 2-3, p.119-126. 1997.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: E. Blucher, 1976. 278 p.

PINTO, N. L.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. **Hidrologia de superfície**. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 1973. 179 p.

PORTAL DO MEIO AMBIENTE. **Campos Sulinos (Bioma Pampa)**. Disponível em: <<http://www.jornaldomeioambiente.com.br/JMABiomasBrasileiros/Pampa.asp>>. Acesso em: 11 de set. 2007.

PRONI - PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. **Medidores de vazão para pequenos cursos de água**: manual do usuário. São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1990. 88 p.

QUADROS, F. L. F.; PILLAR, V. D., Dinâmica vegetational em pastagem natural submetida tratamento de queima e pastejo. **Ciência Rural**, v. 31, p. 863-868, 2001.

REMAM - REDE DE MONITORAMENTO AMBIENTAL DE MICROBACIAS. **Conceitos teóricos**. 2002. LIMA, W. P. Disponível em: <<http://www.ipef.br/promab/members/origemremam.htm>> Acesso em: 18 Set. de 2007

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água**: simulação de um caso. 2000. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: Simulação de um caso**. 2000. 200 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. A outorga integrada das vazões de captação e diluição. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 3, p. 151-168, 2003.

RIO GRANDE DO SUL. Lei n. 9.519 de 21 de Janeiro de 1992. Institui o Código Florestal do Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial [do] Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS, jan 1992. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/legiscomp/arquivo.asp?idNorma=6&tipo=pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2010.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução CONSEMA n. 187 de 11 de Abril de 2008. Aprova o Zoneamento Ambiental para a Atividade de Silvicultura no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial [do] Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS, abr 2008. Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/doc/Resolucao\\_CONSEMA\\_187\\_2008\\_zoneamento\\_Ambiental\\_11\\_04.doc](http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/doc/Resolucao_CONSEMA_187_2008_zoneamento_Ambiental_11_04.doc)>. Acesso em: 07 out. 2009.

**RS Florestal**. 2007. Disponível em: <[http://www.rsflorestalconsultoria.com/sfb\\_historico-daeucalipto\\_cultura\\_2.asp](http://www.rsflorestalconsultoria.com/sfb_historico-daeucalipto_cultura_2.asp)>. Acesso em: 06 julho. 2008.

SABARÁ, M. G. Análise estatística da Correlação entre Uso do Solo e Nascentes no Médio Rio doce – MG. **Revista On-line Unileste**, Minas Gerais, v. 2, julho/dez., 2004. Disponível em: <[http://www.unilestemg.br/revistaonline/volumes/02/downloads/artigo\\_07.pdf](http://www.unilestemg.br/revistaonline/volumes/02/downloads/artigo_07.pdf)>. Acesso em: 30 junho 2009.

SABARÁ, M. G. **Comparação ecológica entre rios de menor ordem, drenando bacias cobertas por plantios agrícolas, pastagens e plantios de Eucalyptus grandis, na região do médio Rio Doce**, MG. 1999. 259 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1999.

SAMPAIO, A. N. **O eucalipto**. Belo Horizonte: Boletim da Secretaria da Agricultura, Indústria, Comércio e Trabalho, 1948.

SAMRAJ, P.; SHARDA, V. N.; CHINNAMANI, S. Hydrological behaviour of the Nilgiri sub-watersheds as affected by bluegum plantations, Part I. The annual water balance. **Journal of Hydrology**, v. 103, p. 335–345, 1988.

SANTOS, I. dos et al. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372 p.

**SBS** - Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2007. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>. Acesso em: 10 nov. 2007.

SCARPINELLA, G. D. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. Dissertação (Mestrado em Energia Eletrotécnica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SCOTT, D. F.; LESCH, W. Streamflow responses to afforestation with Eucalyptus grandis and Pinus patula and to felling in the Mokobulaan experimental catchments, South Africa. **Journal of Hydrology**, v.199, p. 360-377, 1997.

**SEMA - Secretaria Estadual de Meio Ambiente do RS**. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/sema/jsp/descnoticias.jsp?ITEM=1717&TIPO=>>> Acesso em: 18 nov. 2007.

**SERGS** – Sociedade dos Engenheiros do Rio Grande do Sul. 2008. Disponível em: <[http://www.sergs.com.br/\\_conteudo/interno.php?ativo=NOTICIAS&sub\\_ativo=SAIBA\\_MAI&id=1240](http://www.sergs.com.br/_conteudo/interno.php?ativo=NOTICIAS&sub_ativo=SAIBA_MAI&id=1240)> . Acesso em: 02 julho 2008.

SEVERO, C. M.; MIGUEL, L. A. A sustentabilidade dos sistemas de produção de bovinocultura de corte do Estado do Rio Grande do Sul. **Redes**, v. 11, n. 2, p. 1-21, 2006.

SHARDA, V. N. et al. Hydrological behaviour of first generation coppiced bluegum plantations in the Nilgiris sub watersheds. **Journal of Hydrology**, v. 211, p. 50-60. 1998.

SILVA, A. C. et al. Influência da estrutura da paisagem sobre a diversidade de fragmentos de floresta aluvial no Sul de Minas Gerais”. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis, 2007 **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 1855-1862.

SILVEIRA, G. L. et al. **Metodologia para iniciar a implantação de outorga em bacias carentes de dados de disponibilidade e demanda – IOGA: Bacia do rio Ibicuí.** [S.l.:s.n.], 2005. (Relatório Final, 3v.).

SILVEIRA, G. L. da et al. Balanço de cargas poluidoras pelo monitoramento qualitativo dos recursos hídricos em pequena bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 8, n. 1, p. 5-11, 2003.

SILVEIRA, A. L. da; SILVEIRA, G. L. da. **Vazões Mínimas: hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001. cap. 5.

SILVEIRA, A. L. L.; SILVEIRA, G. L. Vazões mínimas. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Orgs.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica.** In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000, p. 35-51.

SILVEIRA, G. L. da; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 97-110, julho/set.1998.

SILVEIRA, G. L. da; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da. Quantificação de Vazão em Pequenas Bacias sem Dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** v. 3, p. 111-131, 1998.

SILVEIRA, G. L. et al. Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 5-16, 1998.

SILVEIRA, G. L. Estimativa de vazões em pequenas bacias hidrográficas com dados escassos. In: **AGUA: uso y manejo sustentable.** 1. ed. Buenos Aires: Industria Gráfica del Libro, 1997. v. único, p. 201-212.

SILVEIRA, G. L. **Quantificação de vazão em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos.** 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos

e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SILVEIRA, G. L. da et al. Informações hidrológicas em pequenas Bacias Hidrográficas Rurais. **A Água em Revista**, v. 4, p. 31 - 39, 1995.

SMAKHTIN, V. Y. Low-flow hidrology: a review. **Journal of Hidrology**, v. 240, p. 147-186, 2001.

SOARES, J. V.; ALMEIDA A. C.; PENCHEL R. M. Balanço hídrico de plantações de eucalipto a partir da estimativa de transpiração pelo método de Penman-Monteith. In: INTERNATIONAL UNION OF FOREST RESEARCH ORGANIZATIONS (IUFRO) CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: [s.n.], 1997. v. 4, p. 52-61.

SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 253, p. 130-147, 2001.

STEDNICK, J. D. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. **Journal of Hydrology**, v. 176, p.79-85, 1996.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

SUGAI, M. R. V. B.; FILL, H. D.; GOMES, J. A Importância do monitoramento na gestão de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1998, Gramado. **Anais...** Gramado: ABRH, 1998.

THOMAZ, E. L. Geomorfologia ambiental e agricultura familiar na bacia do rio iratim Guarapuava-PR. **R.RA'GA**, Curitiba, n. 4, p. 37-48, 2000.

TRIMBLE, Jr.; WEITZMAN G. R. S. Effect of a hardwood forest canopy on rainfall intensities. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 35, n. 2, p. 226-234, 1954.

TRINDADE, J. P. P. **Processos de degradação e regeneração de vegetação campestre de areais do sudoeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 125 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia, ciência e aplicação**, Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2000. 943 p.

UFMS – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Implantação Plena da Outorga**: análises das condições de contorno ao balanço hídrico em sistema de apoio a decisão, em bases socialmente sustentadas – SIOGA. [S.l.:s.n.], 2006. (Relatório Técnico Parcial, n. 2).

\_\_\_\_\_. **Desenvolvimento de ações para implantação de outorga na Bacia do Rio Santa Maria - IOGA**. [S.l.:s.n.], 2005. (Relatório Técnico Parcial, n. 1).

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 449 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VITAL, M. H. Impacto ambiental das florestas de eucalipto, **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, dez. 2007.

VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M.; Flow Duration Curves. I: new Interpretation and confidence intervals. **J. Water Resources Planning and Management**, v. 120, n. 4. p. 485-504, p. 573-619. 1994.

WMO. **Guide to hydrological practices, data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications**. 15. ed. Genebra-Suíça: [s.n.], 1994. cap. 20, p 259. 1994, n. 168.